

1-1-2016

## Mejoramiento de la eficiencia de un turbogenerador a gas reduciendo la temperatura del aire de entrada

José David Orjuela Ramírez  
*Universidad de La Salle, Bogotá*

Diego Mauricio Díaz Arias  
*Universidad de La Salle, Bogotá*

Follow this and additional works at: [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_electronica](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_electronica)

---

### Citación recomendada

Orjuela Ramírez, J. D., & Díaz Arias, D. M. (2016). Mejoramiento de la eficiencia de un turbogenerador a gas reduciendo la temperatura del aire de entrada. Retrieved from [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_electronica/49](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_electronica/49)

This Trabajo de grado - Pregrado is brought to you for free and open access by the Facultad de Ingeniería at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in Ingeniería Eléctrica by an authorized administrator of Ciencia Unisalle. For more information, please contact [ciencia@lasalle.edu.co](mailto:ciencia@lasalle.edu.co).

MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA DE UN TURBOGENERADOR A GAS  
REDUCIENDO LA TEMPERATURA DEL AIRE DE ENTRADA.

JOSE DAVID ORJUELA R.  
DIEGO MAURICIO DIAZ.

UNIVERSIDAD DE LA SALLE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA.  
BOGOTÁ D.C. – 2016

MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA DE UN TURBOGENERADOR A GAS  
REDUCIENDO LA TEMPERATURA DEL AIRE DE ENTRADA.

JOSE DAVID ORJUELA R.  
DIEGO MAURICIO DIAZ.

Trabajo de grado para obtener el titulo de Ingeniero Electricista

Asesor: Ph.D. JOSE ANTONIO TUMIALAN BORJA.

UNIVERSIDAD DE LA SALLE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PRORAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA.  
BOGOTÁ D.C. - 2016

Nota de aceptación.

---

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

BOGOTÁ D.C.



### **Agradecimientos.**

A Dios porque mi vida siempre ha estado dentro de su voluntad, gracias por capacitarme con la inteligencia y la sabiduría necesaria para lograr mis metas hasta el día de hoy, pero gracias te doy porque tu siempre obras para el bien de quienes te aman.

A mis papas que siempre han sido un apoyo vital en mi vida, gracias por su comprensión, por su preocupación y por estas siempre pendientes para apoyarme cuando más lo necesite, gracias por su ejemplo ya que siempre fue mi punto de motivación para hacer lo correcto en mi vida.

A mi hermana Angélica por siempre tener la palabra de aliento correcta en el momento oportuno, gracias por tu amor y apoyo.

A mi director de Tesis José Antonio Tumialan B. por brindarnos el apoyo necesario para culminar este proyecto, por compartir con nosotros su tiempo y sus conocimientos en el transcurso del desarrollo de este proyecto, pero ante todo muchas gracias por su comprensión y paciencia.

**José David Orjuela R.**

### **Agradecimientos.**

Principalmente a DIOS por permitirme lograr este objetivo en mi vida, a mi familia por todo el apoyo brindado en este proceso.

A Norma Arias, Carlos Díaz y Nuvia Díaz que fueron el motor fundamental para cumplir esta etapa y siempre conté en cada momento con ellos y siempre estuvieron a mi lado para alcanzar este logro

A Pamela Castañeda que me acompañó y brindó motivación para lograr este peldaño más en mi vida.

Los consejos de Luis Milciades Peña, Maritza Arias y Gonzalo Arias por su apoyo brindado

Más que agradecimientos quiero dedicarles este nuevo logro a mis abuelos Adela Mora de Díaz y José María Arias que me cuidan desde el cielo

**Diego Mauricio Díaz.**

## RESUMEN

En la actualidad, en las instalaciones de la estación Monal de la empresa Hocol, se cuenta con un sistema de generación basado en turbo generadores a gas, Taurus 60 Marca Solar, impulsados con gas extraído del campo y una parte comprado, las tubo máquinas cuentan con una potencia de salida de 5670 kWe (Kilovatios eléctricos) cada una con una potencia real de salida de 4 MW limitada a la capacidad del generador.

En el desarrollo de este proyecto se realizó la identificación del funcionamiento actual de las máquinas en operación, con el fin de diseñar y escoger un sistema de refrigeración adecuado para enfriar el aire de admisión al compresor de 24 °C a 10 °C, una vez escogido el sistema de refrigeración por absorción, se calcula el sistema en la central, para esto se realizan los cálculos de ingeniería necesarios para que un intercambiador de calor cumpla con las condiciones de operación y poder bajar la temperatura del aire a 10°C

Después de haber realizado el diseño del sistema de refrigeración se desarrollo un sistema de control que permita establecer la temperatura de entrada del aire en un punto fijo, estableciéndolo 10 °C como referencia, desarrollando un sistema el cual consiste en controlar el flujo másico del agua al interior de intercambiador para así obtener siempre la misma temperatura en el aire de entrada.

Como resultado, se obtuvo que es muy provechoso reducir la temperatura del aire de entrada debido a que la potencia que se aumenta es más grande que la que consume el sistema de refrigeración siendo casi despreciable, también es un sistema que no requiere de un mantenimiento muy seguido debido a que no tiene partes móviles en su proceso térmico.

## ABSTRACT

Today, in the premises of the Monal station company Hocol, it has a generation system based on turbo gas generators, Taurus 60 Brand Solar-powered extracted from field gas and part purchased from TGI, the tube machines have an output power of 5670 kWe (electric Kilowatts) each with an actual power output of 4 MW limited to the capacity of the generator.

In the development of this project identifying the current operation of the machines in operation, in order to design and choose a suitable cooling system for cooling the in take air compressor 24 ° C at 10 ° C was performed, once chosen the absorption refrigeración system, the system is calculated in the central, for this was necessary engineering calculations required for a heat exchanger complies with the operating conditions required

After having the design of the cooling system is developing a system of controls to set the inlet temperature of the air at a fixed point, establishing 10 ° C reference, developing a system which is to control the mass flow of water exchanger inside so always get the same temperature in the inlet air.

As a result it was obtained that is very helpful to reduce the temperature of the inlet air because the power is increased is larger than it consumes cooling system being almost negligible, it is also a system that does not require maintenance very often because it has no moving parts in the thermal process.

## TABLA DE CONTENIDO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>NOMENCLATURA .....</b>  | <b>14</b> |
| <b>INTRODUCCION .....</b>  | <b>16</b> |
| <b>1. CAPITULO 1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO .....</b>                          | <b>18</b> |
| <b>1.1 DIAGNOSTICO .....</b>   | <b>19</b> |
| 1.1.1 Funcionamiento Actual.....   | 19        |
| 1.1.2 Funcionamiento con el Sistema de refrigeración .....                   | 21        |
| <b>2 CAPITULO 2. SISTEMAS DE REFRIGERACION .....</b>                         | <b>23</b> |
| <b>2.1 SISTEMA DE REFRIGERACIÓN POR ABSORCIÓN .....</b>                      | <b>23</b> |
| 2.1.2. Principio de Funcionamiento .....                                     | 25        |
| 2.1.2 Descripción del funcionamiento. ....                                   | 27        |
| <b>2.2 SISTEMA DE ABSORCION DE DOBLE EFECTO. ....</b>                        | <b>29</b> |
| 2.2.1 Descripción del funcionamiento: .....                                  | 31        |
| <b>2.3 SISTEMA DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN .....</b>                     | <b>33</b> |
| 2.3.1 Descripción del funcionamiento .....                                   | 34        |
| <b>2.4 SELECCION DEL SISTEMA DE REFRIGERACION. ....</b>                      | <b>36</b> |
| 2.4.1 Fuente de alimentación del Sistema .....                               | 36        |
| 2.4.2 Consumo de Energía del Sistema.....                                    | 37        |
| 2.4.3 Costo de implementación del sistema.....                               | 38        |
| 2.4.4 Eficiencia del Sistema .....   | 39        |
| <b>2.5 Selección del sistema de refrigeración .....</b>                      | <b>40</b> |
| <b>3 CAPITULO 3. CALCULOS PARA EL SISTEMA DE REFRIGERACION.....</b>          | <b>42</b> |
| <b>3.1 DESCRIPCION DEL SISTEMA DE REFRIGERACION.....</b>                     | <b>42</b> |
| <b>3.2 BALANCE DE ENERGIA. ....</b>  | <b>42</b> |
| <b>3.3 SELECCIÓN DE LA MAQUINA DE ABSORCIÓN.....</b>                         | <b>44</b> |
| <b>4 CAPITULO 4. DISEÑO INTERCAMBIADOR DE CALOR.....</b>                     | <b>45</b> |
| <b>4.1 BALANCE TÉRMICO .....</b>   | <b>46</b> |
| <b>4.2 CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS DEL INTERCAMBIADOR .....</b>            | <b>49</b> |
| <b>4.3 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS RELATIVAS DE LOS TUBOS ALETADOS. ....</b> | <b>51</b> |
| <b>4.4 DIMENSIONES DEL CONDUCTO DE AIRE Y PASOS ENTRE LOS TUBOS. ....</b>    | <b>55</b> |
| <b>4.5 VELOCIDAD Y ÁREA PARA EL PASO DEL AIRE.....</b>                       | <b>56</b> |

|             |   |            |
|-------------|---|------------|
| <b>4.6</b>  | <b>VELOCIDAD MEDIA Y ÁREA PARA EL PASO DE AGUA .....</b>                  | <b>58</b>  |
| <b>4.7</b>  | <b>CÁLCULO DEL ÁREA DE LA SUPERFICIE DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR</b>      |            |
|             | <b>60</b>   |            |
| 4.7.1       | Coeficiente global de transferencia de calor. ....                        | 61         |
| 4.7.2       | coeficiente de convección relativa $h_{1rel}$ .....                       | 62         |
| 4.7.3       | Coeficiente de convección $h_c$ .....                                     | 62         |
| <b>4.8</b>  | <b>COEFICIENTE DE EFICIENCIA TEÓRICA DE LA ALETA.....</b>                 | <b>65</b>  |
| 4.8.1       | Coeficiente de convección de la pared hacia el fluido interno $h_2$ ..... | 69         |
| 4.8.2       | Área de la superficie de intercambio de calor:.....                       | 74         |
| <b>4.9</b>  | <b>FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA DEL INTERCAMBIADOR.....</b>                   | <b>76</b>  |
| <b>4.10</b> | <b>Función de transferencia. ....</b>                                     | <b>80</b>  |
| 4.10.1      | válvula de control.....   | 83         |
| <b>5</b>    | <b>CAPITULO 5. INSTRUMENTACION Y DISEÑO ELECTRICO.....</b>                | <b>86</b>  |
| <b>5.1</b>  | <b>Transmisor de temperatura .....</b>                                    | <b>87</b>  |
| <b>5.2</b>  | <b>Tanque de agua fría. ....</b>  | <b>88</b>  |
| <b>5.3</b>  | <b>DISEÑO SISTEMA ELÉCTRICO Y PLANOS.....</b>                             | <b>94</b>  |
| 5.3.1       | Diseño cables de alimentación.....  | 96         |
| 5.3.2       | Detalle constructivo del cárcamo de fuerza. ....                          | 97         |
| 5.3.3       | Características de la bandeja. ....                                       | 99         |
| 5.3.4       | Señales de Control .....  | 99         |
| 5.3.5       | Bandeja de control .....  | 100        |
| <b>5.4</b>  | <b>CALCULO DE CABLES POR REGULACIÓN. ....</b>                             | <b>101</b> |
| 5.4.1       | Dimensionamiento cables de potencia.....                                  | 101        |
| 5.4.2       | Calculo y coordinación de protecciones.....                               | 104        |
| <b>6</b>    | <b>CAPITULO 6. INSTRUMENTACION Y ESTRATEGIAS DE CONTROL PARA EL</b>       |            |
|             | <b>SISTEMA DE REFRIGERACION .....</b>                                     | <b>106</b> |
| <b>6.1</b>  | <b>PRIMER ESTRATEGIA DE CONTROL - MÉTODO ZIEGLER – NICHOLS EN LAZO</b>    |            |
|             | <b>ABIERTO.....</b>   | <b>106</b> |
| 6.1.1       | Control PID por medio del método de ZN:.....                              | 108        |
| <b>6.2</b>  | <b>SEGUNDA ESTRATEGIA DE CONTROL MÉTODO DE COHEN – COON .....</b>         | <b>109</b> |
| 6.2.1       | Control PID por medio del método de Cohen - Coon.....                     | 111        |
| <b>6.3</b>  | <b>TERCER ESTRATEGIA DE CONTROL - DISEÑO CONTROL PID – LUGAR</b>          |            |
|             | <b>GEOMÉTRICO DE RAICES.....</b>  | <b>113</b> |

|       |   |     |
|-------|---|-----|
| 6.3.1 | COMPARACIÓN DE LOS TRES CONTROLADORES REALIZADOS..... | 116 |
| 6.4   | TABLA DE COMPARACIÓN DE LOS TRES CONTROLADORES .....  | 116 |
| 7     | CONCLUSIONES. ....                                    | 118 |
|       | BIBLIOGRAFÍA .....                                    | 120 |

## LISTA DE TABLAS

|  |     |
|--|-----|
| Tabla 1 Fuente de alimentación de cada sistema. ....                                 | 36  |
| Tabla 2 Componentes de cada Sistema de refrigeración que consumen Energía. ....      | 37  |
| Tabla 3 Eficiencia de cada sistema. ....   | 39  |
| Tabla 4 Comparación sistema de absorción Vs sistema por compresión ....              | 40  |
| Tabla 5 Características maquina de absorción comerciales. ....                       | 44  |
| Tabla 6 Conversión de °C a K. ....   | 46  |
| Tabla 7 Especificaciones del tubo aletado. ....                                      | 50  |
| Tabla 8. Comparación entre el intercambiador de calor diseñado y uno comercial. .... | 75  |
| Tabla 9 Análisis de unidades ....  | 79  |
| Tabla 10 Asignación de variables. ....   | 80  |
| Tabla 11 Asignación de variables ....  | 81  |
| Tabla 12 Parámetros de la válvula ....   | 84  |
| Tabla 13 Características PT100 ....  | 87  |
| Tabla 14 Características Bomba. ....   | 90  |
| Tabla 15 Cargas del sistema ....   | 94  |
| Tabla 16 Resumen comportamiento del controlador PID con el método ZN. ....           | 109 |
| Tabla 17 Arreglos para diseño de controladores – Método Cohen - Coon. ....           | 110 |
| Tabla 18 Resumen comportamiento del controlador PID con el método Cohen - Coon ....  | 113 |
| Tabla 19 Resumen controlador PID con el método de lugar geométrico de raíces ....    | 115 |
| Tabla 20 Comparación de las 3 estrategias de control. ....                           | 117 |



## LISTA DE FIGURAS

|  |     |
|--|-----|
| Figura 1 Turbogeneradores - Planta de generación Hocol.....                    | 20  |
| Figura 2 Ciclo de refrigeración por absorción .....                            | 24  |
| Figura 3 Componentes Maquina de absorción.....                                 | 25  |
| Figura 4. Esquema y equipos de una maquina de absorción de simple efecto. .... | 27  |
| Figura 5 Componentes de una maquina de absorción de doble efecto .....         | 29  |
| Figura 6 Diagrama de Dhuring para un ciclo de absorción de doble efecto .....  | 30  |
| Figura 7 Esquema ciclo de absorción de doble efecto.....                       | 30  |
| Figura 8 Ciclo de refrigeración por compresión .....                           | 33  |
| Figura 9 Parámetros de diseño .....  | 45  |
| Figura 10 Características tubo de acero al carbono aletado.....                | 50  |
| Figura 11 Disposición en triangulo de los tubos aletados.....                  | 51  |
| Figura 12 Variables de entrada y salida del intercambiador.....                | 76  |
| Figura 13 Simulación del sistema .....   | 85  |
| Figura 14 Especificaciones del tanque de agua. ....                            | 89  |
| Figura 15 Plano civil sistema de refrigeración .....                           | 95  |
| Figura 16. Carcamo fuerza.....   | 97  |
| Figura 17 Vista isométrica Cárcamo.....  | 98  |
| Figura 18 Detalle constructivo del carcamo .....                               | 98  |
| Figura 19 Ruteo Bandeja de Control .....                                       | 100 |
| Figura 20 Bandeja de Control.....  | 101 |

## LISTA DE GRAFICAS

|  |     |
|--|-----|
| Grafica 1. Punto de operación actual de la turbina. ....                                     | 19  |
| Grafica 2 Funcionamiento de la turbina proyectado.....                                       | 21  |
| Grafica 3. Equipos de una maquina de absorción de simple efecto sobre un diagrama P vs T.... | 26  |
| Grafica 4 Componentes sistema de refrigeración por compresión en un diagrama de Mollier..... | 34  |
| Grafica 5. Costo de cada sistema de refrigeración.....                                       | 38  |
| Grafica 6. Eficiencia de los sistemas de refrigeración.....                                  | 39  |
| Grafica 7 Punto de funcionamiento Turbina.....   | 43  |
| Grafica 8 Simulación del sistema .....   | 85  |
| Grafica 9 Constantes de tiempo método – Ziegler – Nichols .....                              | 106 |
| Grafica 10 Constantes de tiempo para el método ZN .....                                      | 107 |
| Grafica 11 comportamiento del sistema con un controlador PID obtenido con el método ZN..     | 108 |
| Grafica 12 Caracterización de la curva – Método Cohen Coon .....                             | 110 |
| Grafica 13 Parámetros del método Cohen - Coon .....  | 111 |
| Grafica 14 Simulación del controlador PID por medio Cohen - Coon.....                        | 112 |
| Grafica 15 Control PID – Lugar Geométrico de Raíces .....                                    | 115 |
| Grafica 16 Comparación de las tres estrategias de control. ....                              | 116 |

## NOMENCLATURA

$A$  – Superficie calculada de intercambio de calor  $m^2$

$A_A$  – superficie de intercambio de calor de las aletas ( $m^2$ )

$A_{int}$  – superficie interna de intercambio de calor ( $m^2$ )

$A_{s,a}$  – superficie de los tubos sin considerar las aletas ( $m^2$ )

$A_T$  – parte de la superficie de intercambio de calor que no esta ocupanda por las aletas ( $m^2$ )

$D = d + 2H_A$  – diámetro de la aleta ( $m^2$ ).

$D_f$  – flujo masico del fluido de trabajointerno  $\left(\frac{Kg}{s}\right)$ .

$d$  – diámetro extremo del tubo que esta aletado (m).

$d_{int}$  – diametro interno de los tubos (m).

$E$  – coeficiente de eficiencia teorica de la aleta.

$FP$  = Factor de potencia

$h$  – coeficiente de conveccion  $\left(\frac{W}{m^2 * K}\right)$ .

$h_{1rel}$  – coeficiente de conveccion relativo por el lado extremo de gases  $\left(\frac{W}{m^2 * K}\right)$ .

$h_2$  – coeficiente de conveccion de la pared hacia el fluido interno  $\left(\frac{W}{m^2 * K}\right)$ .

$I_n$  = Corriente Nominal A

$K_A$  – conductividad termica del metal de las aletas  $\left(\frac{W}{m * K}\right)$ .

$l_A$  – altura delaaleta(m).

$l'_A = l_A + \frac{\delta_A}{2}$  – altura relativa de la aleta (m).

$m$  – parametro dla aleta  $\left(\frac{1}{m}\right)$ .

$P$  = Potencia activa W

$Q$  – flujo de calor captado en la superficie por unidad de tiempo (KW).

$\%R_V$  = Regulacion de tension

$S$  = Potencia aparente KVA

$S_A$  – paso entre aletas (m).

$S_1$  – paso transversal entre tubos (m).

$S_2$  – paso longitudinal entre tubos (m).

$T$  – temperatura media del fluido de trabajo interno en el banco de tubos (K).

$U$  – coeficiente global de transmisión de calor  $\left( \frac{W}{m^2 * K} \right)$ .

$\Delta T$  – diferencias de temperaturas (K).

$\delta_A$  – espesor medido de la aleta (m).

$\delta_1$  – espesor de la aleta en su base (m).

$\delta_2$  – espesor de la aleta en su filo (m).

$\varepsilon$  – coeficiente de ensuciamiento,  $\left( m^2 * \left( \frac{K}{W} \right) \right)$ .

$\mu$  – viscosidad dinámica del fluido de trabajo (Pa \* s).

$\mu_A$  – coeficiente que considera el ensanchamiento de la aleta hacia su base.

$V$  = Tensión de línea

$V_F$  = Tensión de Fase

## INTRODUCCION

Actualmente la demanda de energía eléctrica está en aumento debido al crecimiento poblacional y al desarrollo tecnológico e industrial de las ciudades, por lo cual las centrales energéticas se han visto obligadas a tener un desarrollo paralelo para poder abastecer las necesidades en el suministro que demandan las ciudades actualmente.

En este proceso de expansión el sistema eléctrico debe acogerse a las condiciones de operación y a las características ambientales del sitio donde se encuentren, en este trabajo se trata el tema desde el punto de vista de las centrales térmicas que operan con turbogeneradores a gas ya que este tipo de máquinas generadoras varían sus características de generación (potencia generada) dependiendo de las condiciones ambientales en donde se encuentren instaladas, este tipo de máquinas varia su eficiencia generadora en función de la temperatura del aire de entrada al compresor.

Esta variación genera un problema de estudio debido a que no se puede garantizar la misma eficiencia de las máquinas siempre, debido a que estas máquinas varían su rango de operación a causa de la temperatura de aire de admisión del compresor, por esta razón este tipo de máquinas no son eficientes en ambientes donde las condiciones climáticas presentan temperaturas muy altas.

Con el propósito de mejorar la eficiencia de las turbinas de gas se implementan actualmente sistemas de refrigeración que permitan enfriar el aire de entrada al compresor. (Optimización de potencia mediante chillers mecánicos , 2010) “Para aumentar la potencia obtenida u optimizar el rendimiento de una central que opere con turbinas de gas, se pueden modificar las condiciones de admisión del aire, introduciendo sistemas que reduzcan su temperatura de entrada la principal,

razón por la cual es ventajoso enfriar el aire de entrada a la turbina de gas es para evitar las diferentes pérdidas de potencia cuando la temperatura ambiente es alta. Además estas técnicas de enfriamiento pueden ser utilizadas para elevar la potencia generada a condiciones nominales.

La razón por la cual las turbinas mejoran su eficiencia con una temperatura baja del aire de entrada, es que a medida que el aire se enfría se vuelve más denso lo cual hace que la fuerza generadora del aire aumente. La potencia de una turbina de gas es directamente proporcional y está limitada por el gasto másico de aire que entra en el compresor. El compresor tiene una capacidad fija de suministro de caudal volumétrico, para una velocidad de giro dada, pero eso no implica que el caudal másico sea siempre el mismo, (Miguel Capella Castro, David Vasquez, 2000) “Este caudal de aire se debe multiplicar por la densidad, si se disminuye la temperatura ambiente la capacidad y eficiencia de las turbinas de gas, se incrementan debido a que esta disminución induce un aumento en la densidad del aire en la succión del compresor, esto se traduce en un incremento del flujo másico”.

Un significativo segundo efecto que presentan las técnicas de enfriamiento del aire de entrada a la turbina de gas, es que reduce la tasa de consumo de combustible reduciendo las emisiones debido al mejoramiento en la eficiencia total. (Opex Energy)

## **1. CAPITULO 1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

El Centro de Generación Eléctrica Monal, está compuesto por 5 Turbo generadores Marca Solar, impulsados con gas extraído del campo y una parte comprado, los generadores tienen una potencia de salida de 5670 kWe (Kilovatios eléctricos) por unidad y con una potencia real de salida de 4 MW limitada a la capacidad del generador; Debido a la temperatura del aire de del departamento del Huila donde se encuentra ubicada la central, el desempeño de las turbinas de gas varían significativamente con respecto a las dadas por el fabricante, resaltando que por razones técnicas, las turbinas de gas TGG Taurus 60 pueden trabajar hasta cierta temperatura para mantener la confiabilidad otorgada por el constructor y garantizar la potencia de salida especificada. Teniendo en cuenta esto se presentan pérdidas de aproximadamente 1 MW por las condiciones ambientales en la planta generadora. Para ver el valor de la temperatura máxima de admisión al compresor de las turbinas dirigirse al anexo1, “Tabla de datos de potencia generada vs temperatura de entrada de aire” esta tabla fue proporcionada por la central generadora Hocol.

Debido al problema de pérdidas que presenta la planta de generación Hocol, nace la necesidad por parte de la planta generadora de estudiar un sistema de refrigeración para el aire de entrada a los compresores y evaluar si es viable contemplar la implementación o no de este.

## 1.1 DIAGNOSTICO

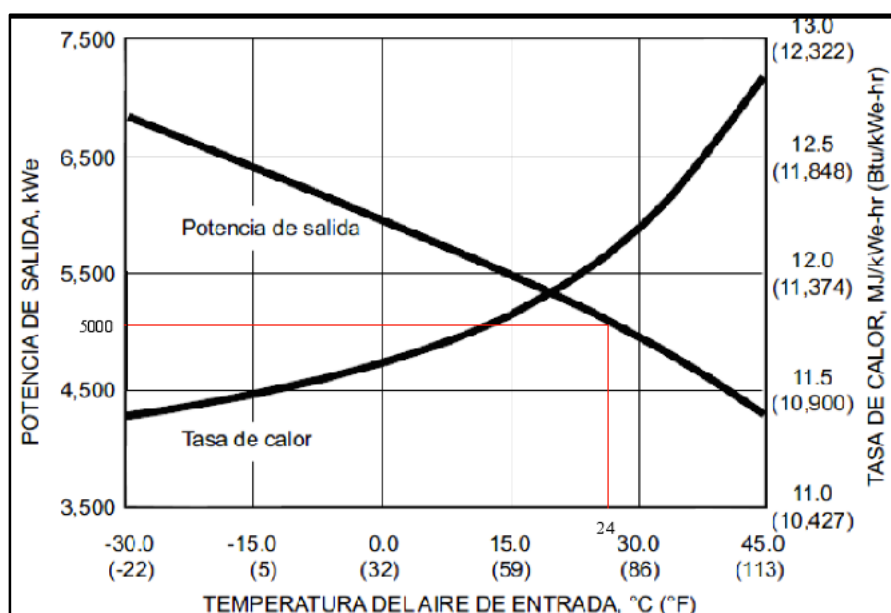
El Centro de Generación Eléctrica Monal, está compuesto por 5 Turbo generadores Marca Solar los cuales actualmente funcionan sin ningún tipo de sistema de refrigeración para el aire de entrada al compresor, la potencia generada por cada turbina del centro de generación depende directamente de la temperatura de operación de la máquina debido a que las altas temperaturas del aire de entrada al interior del enclosure ( entrada de aire ) y el compresor de la turbina reducen significativamente la capacidad de generación de la máquina.

### 1.1.1 Funcionamiento Actual

Realizando un análisis de la curva de funcionamiento característico de la maquina se puede observar que las máquinas están generando en promedio 5100 kWe en condiciones normales de operación.

Condiciones normales de operación:

*Grafica 1. Punto de operación actual de la turbina.*



Fuente: (Solar Turbines, 2014)



La máquina generadora tiene la capacidad de generar hasta 6850 kWe aproximadamente y actualmente esta funcionando con una eficiencia del 75 % lo cual teoricamente da un margen del 25% para mejorar la eficiencia de la máquina. Para ver el datasheet de los turbogeneradores, ver el anexo 2.

*Figura 1 Turbogeneradores - Planta de generación Hocol*



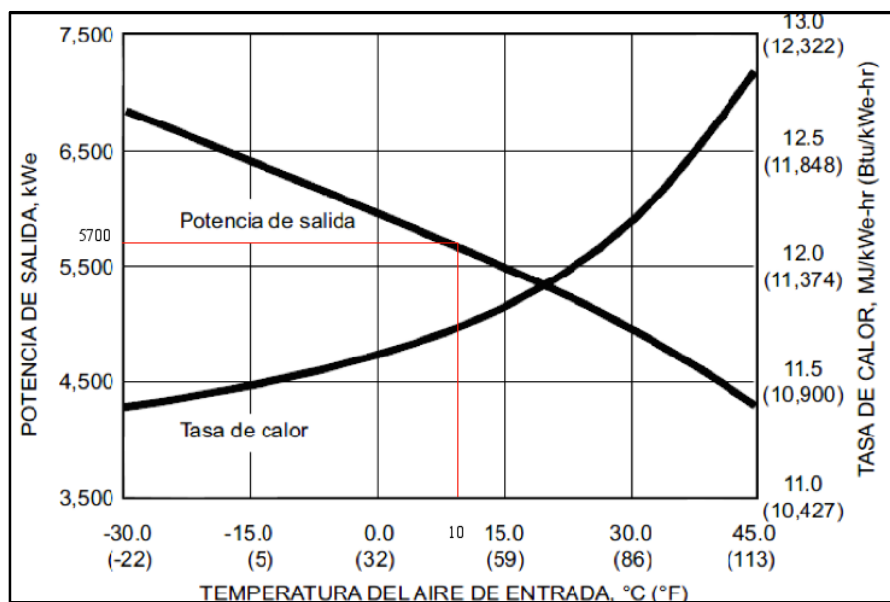
Fuente: Autor

### 1.1.2 Funcionamiento con el Sistema de refrigeración

De acuerdo con la curva de eficiencia de la turbina, se puede establecer que enfriando el aire de entrada de la turbina, incluso en unos pocos grados, es posible incrementar sustancialmente la potencia de salida de la máquina. Esto se debe a que el aire frío es más denso y la turbina recibe un incremento del flujo másico.

Con el sistema de refrigeración el aire de entrada reducirá su temperatura hasta llegar a los 10°C; Se escogió este punto para trabajar sobre la mitad de la curva del generador; De esta manera se puede aumentar la potencia generada a 5700 kWe aproximadamente como se muestra en la grafica 2

*Grafica 2 Funcionamiento de la turbina proyectado*



Fuente : (Solar Turbines, 2014)

Los requerimientos necesarios para que las unidades funcionen como se proyecta son las siguientes.

Se debe seleccionar un sistema de refrigeración que se adapte a las condiciones descritas anteriormente

Se debe realizar los cálculos para un sistema de refrigeración que enfrie el aire de 24°C a 10°C. Por medio de un proceso de co generación en el que se pueda utilizar el calor de los gases de escape de la turbina.

Desarrollar un control que permita que la temperatura del aire de salida del intercambiador / entrada del compresor se mantenga en el punto de diseño

Diseñar el sistema eléctrico completo para el correcto funcionamiento del sistema de refrigeración.

## **2 CAPITULO 2. SISTEMAS DE REFRIGERACION**

Un Sistema de refrigeración es una máquina térmica diseñada para tomar calor de un foco caliente y transferirlo a otro frío. Para su funcionamiento, se aplica la segunda ley de la termodinámica, es decir, se aplica un trabajo externo.

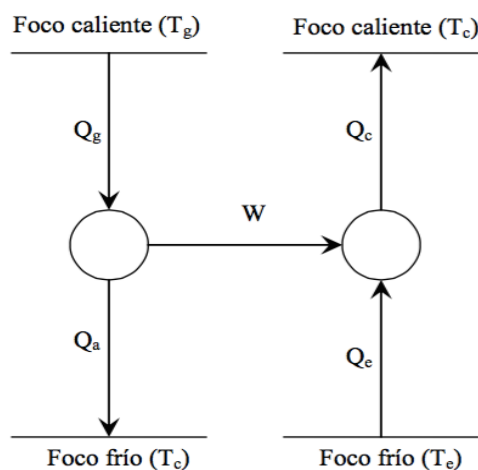
Conforme a las solicitud energética, y a las características de temperatura, potencia, caudal de aire, volumen de control y otras variables, se escoge el mejor sistema térmico, a continuación se describen dos sistemas comunemente utilizados en la industria para enfriar agua y posteriormente se escogerá el mejor para esta situación.

### **2.1 SISTEMA DE REFRIGERACIÓN POR ABSORCIÓN**

El sistema de refrigeración por absorción es un medio de producir frío que aprovecha que las sustancias absorben calor al cambiar de estado, de líquido a gaseoso. En el sistema de absorción, el ciclo se basa físicamente en la capacidad que tienen algunas sustancias, como el bromuro de litio, de absorber otra sustancia, tal como el agua, en fase de vapor. Otra posibilidad es emplear el agua como sustancia absorbente (disolvente) y amoníaco como sustancia absorbida (solute).

A continuación, se muestra en la Figura 2, el esquema de ciclo de refrigeración.

*Figura 2 Ciclo de refrigeración por absorción*



Fuente: (solar, Modelado y simulación de una máquina de absorción de doble efecto en una planta de refrigeración, 2011)

Los componentes principales de una maquina de absorción son:

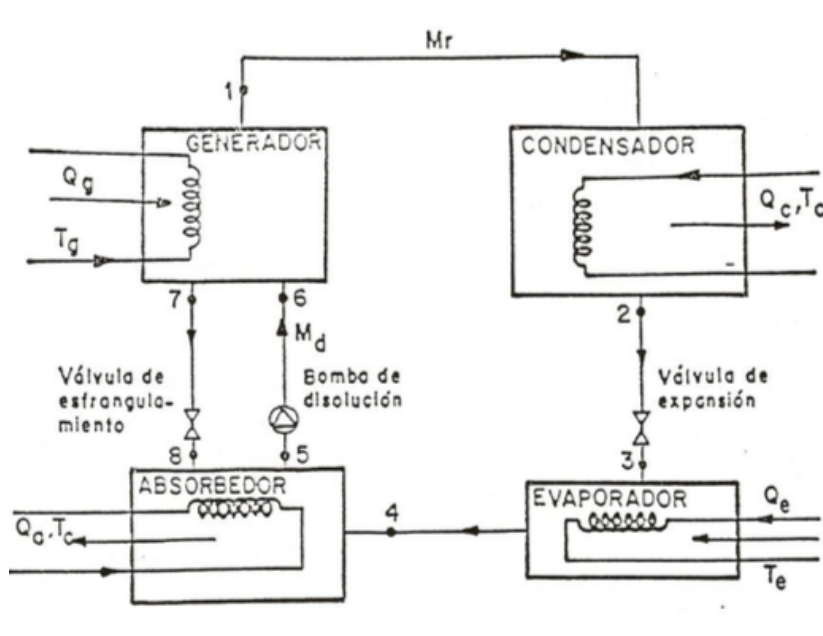
Generador

Absorbedor

Evaporador

Condensador

*Figura 3 Componentes Máquina de absorción*



Fuente: (solar, Modelado y simulación de una máquina de absorción de doble efecto en una planta de refrigeración, 2011)

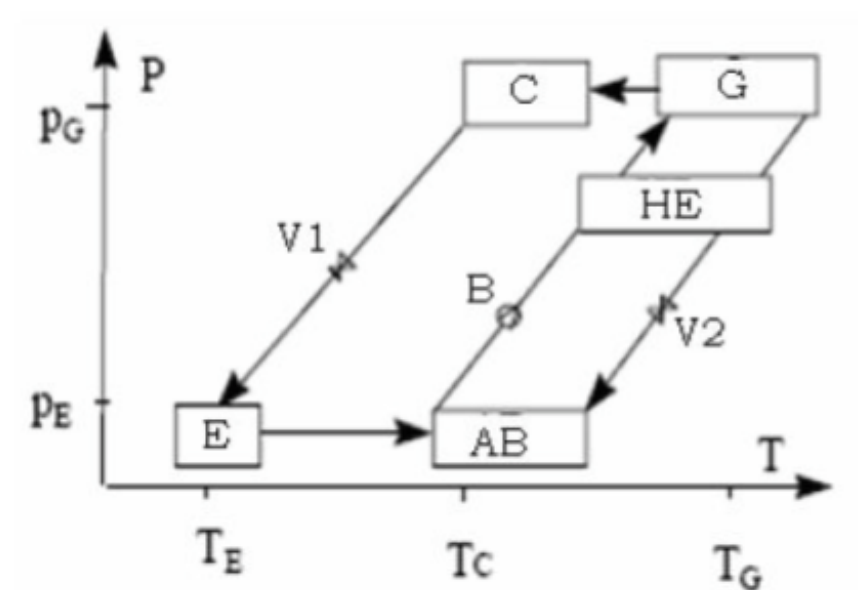
### 2.1.2. Principio de Funcionamiento

El refrigerante que se mueve por un circuito a baja presión, se evapora. La evaporación necesita calor, que obtiene en un intercambiador en el que refrigera un fluido secundario (normalmente, también agua), que se lleva por una red de tuberías a enfriar los ambientes o cámaras que interese. Tras el evaporador, el refrigerante absorbe el vapor de agua en el absorbedor, produciendo una solución diluida o débil.

Esta solución pasa al generador, donde se separan disolvente y soluto mediante calor procedente de una fuente externa; el agua va al condensador, que es otro intercambiador donde

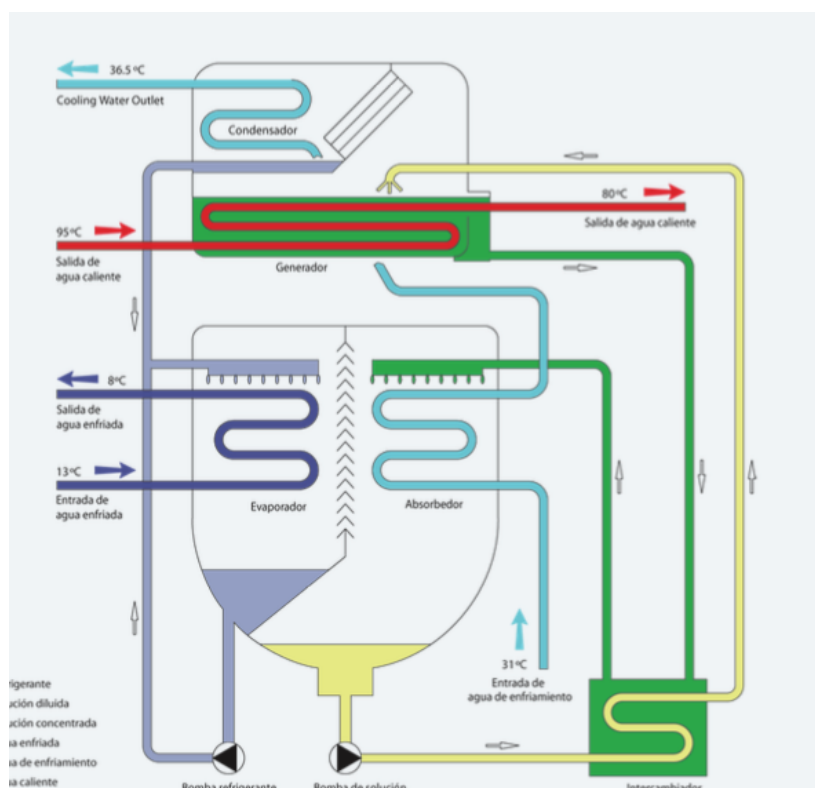
cede la mayor parte del calor recibido en el generador, y desde allí pasa de nuevo al evaporador, a través de la válvula de expansión; el bromuro, ahora como solución concentrada en agua, vuelve al absorbedor para reiniciar el ciclo.

*Grafica 3. Equipos de una maquina de absorción de simple efecto sobre un diagrama  $P$  vs  $T$*



Fuente : (Estudio del estado del arte de las máquinas de absorción)

Figura 4. Esquema y equipos de una maquina de absorción de simple efecto.



Fuente: (Nova-Energia)

### 2.1.2 Descripción del funcionamiento.

Generador: el cual se puede observar en la Gráfica 3 como G, en este punto mediante el aporte de energía térmica (en este caso el gas de escape de la turbina) se produce la evaporación del agua de la solución refrigerante la cual se concentrándose. El vapor de agua (el refrigerante) se dirige al condensador, mientras que la solución concentrada se dirige al absorbedor, a través de una válvula V2.



Condensador: el cual se ve en la Grafica 3 como C, en este punto el vapor de agua que viene del generador cede su calor latente y se condensa. Normalmente la condensación del vapor de agua se realiza mediante otra corriente de agua que circula.

Evaporador: El refrigerante se dirige al evaporador, el cual en la grafica se puede observar como E, pero antes debe pasar por la válvula de expansión V1, para reducir su presión de modo que se produzca su evaporación. Una vez se ha disminuido su presión su presión, el refrigerante llega al evaporador y se evapora tomando la energía necesaria de otra corriente, de agua que circula por tubos, produciéndose en este punto el efecto frigorífico.

Absorbedor: después el refrigerante se dirige hacia el absorbedor, el cual se observa en la grafica como AB. Para ello se ponen en contacto el refrigerante (vapor de agua) y la solución concentrada que proviene del generador. La solución concentrada absorbe el vapor de agua diluyéndose la solución, volviendo a las condiciones de partida.

Dicho proceso de mezcla es exotérmico, por lo que es necesario evacuar el calor generado para que dicho calor no eleve la temperatura del absorbedor , para ello se emplea una corriente auxiliar de agua que evacua dicha energía, esa corriente de agua es la misma corriente de agua la que se usa para refrigerar el condensador, pero primero primero pasa por el absorbedor, y luego pasa por el condensador.

Una vez se ha producido la mezcla, la bomba B, se encarga de elevar la presión de la solución hasta la presión inicial de la mezcla, esta bomba recupera la presión que se perdió en el paso del condensador al evaporador y lleva la mezcla al generador.

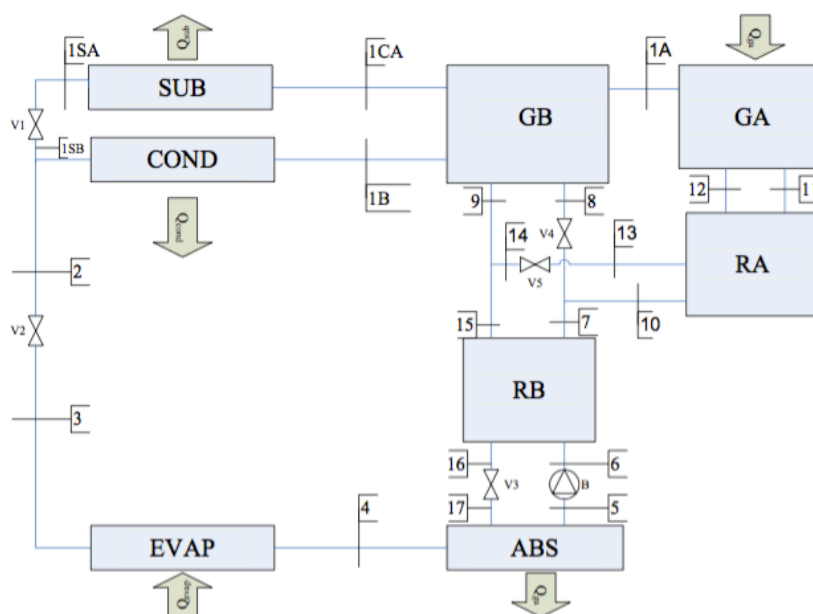
Por ultimo, antes de llegar al generador, la solución pasa por un intercambiador de calor HE, donde entra en contacto con la solución concentrada que proviene del generador y se dirige al

absorbedor, disminuyendo la temperatura de ésta, y aumentado la suya. Con esto se consigue disminuir las necesidades de refrigeración del absorbedor

## 2.2 SISTEMA DE ABSORCION DE DOBLE EFECTO.

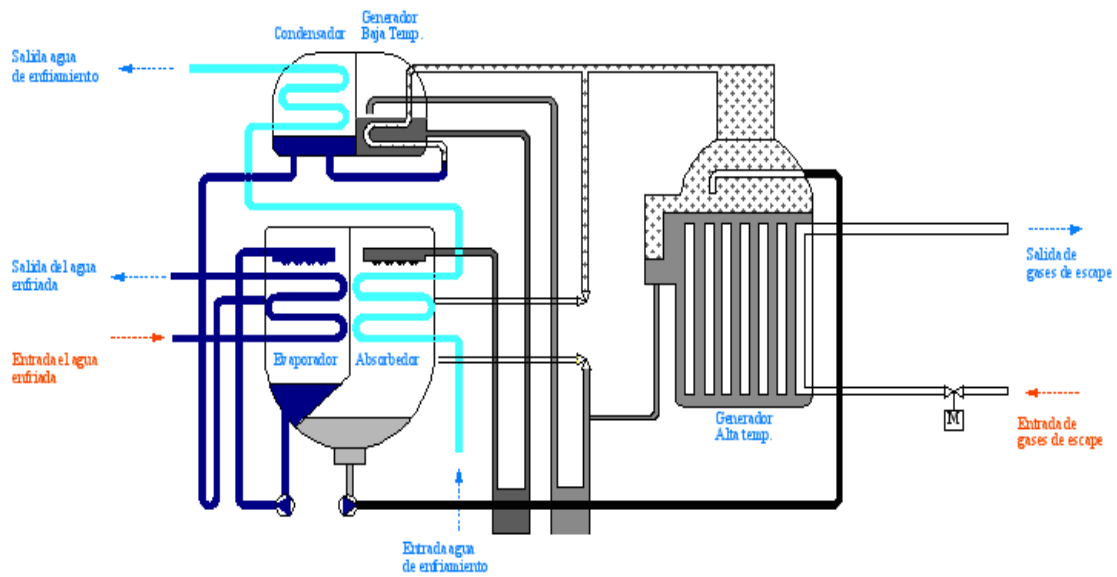
Los componentes principales de una máquina de absorción de doble efecto son dos generadores, uno de alta, generador de baja temperatura, intercambiadores de calor, un condensador, un subenfriador, un evaporador, y un absorbedor .

*Figura 5 Componentes de una maquina de absorción de doble efecto*



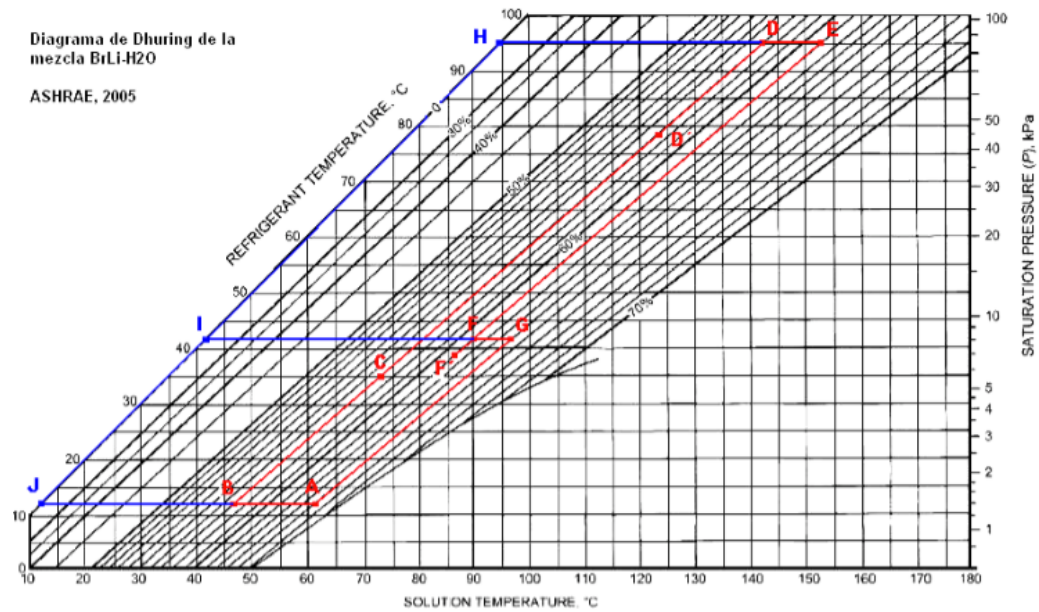
Fuente: (solar, Modelado y simulación de una máquina de absorción de doble efecto en una planta de refrigeración, 2011)

Figura 7 Diagrama de Dhuring para un ciclo de absorción de doble efecto



Fuente: Autor

Figura 6 Esquema ciclo de absorción de doble efecto.



Fuente: (Estudio del estado del arte de las máquinas de absorción)

El ciclo de absorción de doble efecto es parecido al funcionamiento del ciclo de absorción simple efecto, se explicara el principio de su funcionamiento con base en las graficas 6 y 7 respectivamente. Ver plano PL08.

### 2.2.1 Descripción del funcionamiento:

#### *Generador de alta temperatura:*

Como se puede observar en la Figura 6, en el generador se encuentra la solución (solución diluida). En el generador la solución se calienta hasta alcanzar el punto D, en la grafica7, para posteriormente producirse la evaporación del agua de la solución, esta evaporación se ve representada por la línea D-H en la figura 7, y la concentración del resto de la solución línea D-E, obteniéndose la solución intermedia, que es la solución que no se evapora; Posteriormente el vapor de agua va directamente al generador de baja temperatura.

La solución intermedia pasa por el intercambiador de alta temperatura, el cual se puede observar en la grafica 6, antes de pasar al generador de baja temperatura. Este intercambiador cumple la misma función que el intercambiador de calor del ciclo de simple efecto. Este proceso esta representado en la figura 7 como el paso del punto E al punto F.

#### *Generador de baja temperatura:*

El propósito del generador de baja temperatura es extraer mas refrigerante en de la solución intermedia. En el generador de baja temperatura el vapor de agua procedente del generador de alta cede calor a la solución intermedia, condensándose (línea D-H en la figura 7), y haciendo que se evapore mas agua de la solución y ésta quede mas concentrada (este proceso vendría representado

por F-G en la figura 7. El vapor de agua producido en el generador de baja temperatura se manda al condensador.

Tras pasar por el generador de baja temperatura, la solución concentrada atraviesa el intercambiador de baja temperatura. Este proceso de intercambio de energía esta representado en la figura 7 por la línea G-A.

*El condensador*, indicado en la figura 6.

se produce la condensación del refrigerante en estado vapor producido en el generador de baja temperatura, este proceso se representa con la línea F-I en la figura 7, luego se mezcla con la corriente de refrigerante producida en el generador de alta temperatura. La mezcla da lugar a una corriente única de refrigerante que se envía al evaporador. La condensación del refrigerante se produce gracias a la corriente de agua de refrigeración que atraviesa el condensador.

El refrigerante llega al evaporador y se dispersa sobre los tubos de transferencia y se evapora, tomando calor del fluido externo ( fluido a refrigerar) produciéndose el efecto frigorífico buscado este proceso se ve representado en la Figura 7 por la línea J-B. El refrigerante evaporado se dirige ahora hacia el absorbedor.

El absorbedor

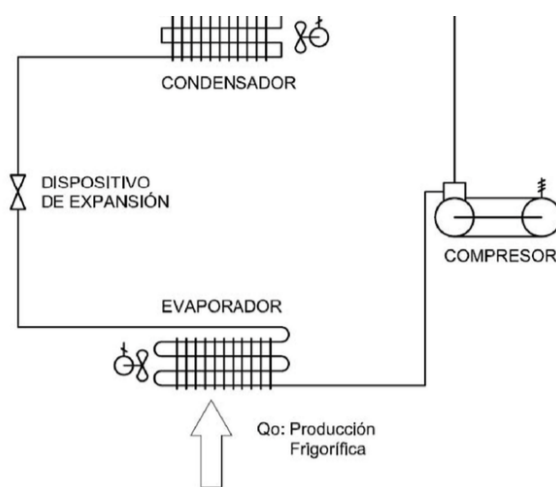
En el absorbedor el refrigerante vaporizado es absorbido por la solución concentrada proveniente del generador de baja temperatura, produciéndose la dilución de la misma (solución diluida). Este proceso viene representado en la figura 7 por la línea A-B. Dado que el proceso es exotérmico, es necesario evacuar el calor generado. Esto se consigue con una corriente de agua de refrigeración que pasa por en el condensador

Finalmente la solución diluida atraviesa primero el intercambiador de baja temperatura y posteriormente el de alta temperatura como se puede observar en la figura 6, elevando su temperatura en el paso por cada uno de ellos, estos procesos se ven reflejados con las líneas B-C y C-D de la figura 7. Una vez abandona el intercambiador de alta temperatura, ingresa en el generador de alta temperatura, con lo que se cierra el ciclo. Y vuelve a comenzar el ciclo de absorción nuevamente.

### 2.3 SISTEMA DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN

Un sistema de compresión mecánica se compone de cuatro elementos principales unidos entre sí. Estos cuatro elementos son los siguientes: compresor, condensador, válvula de expansión y evaporador. Estos elementos se pueden ver representados la figura 8, mostrada a continuación.

*Figura 8 Ciclo de refrigeración por compresión*



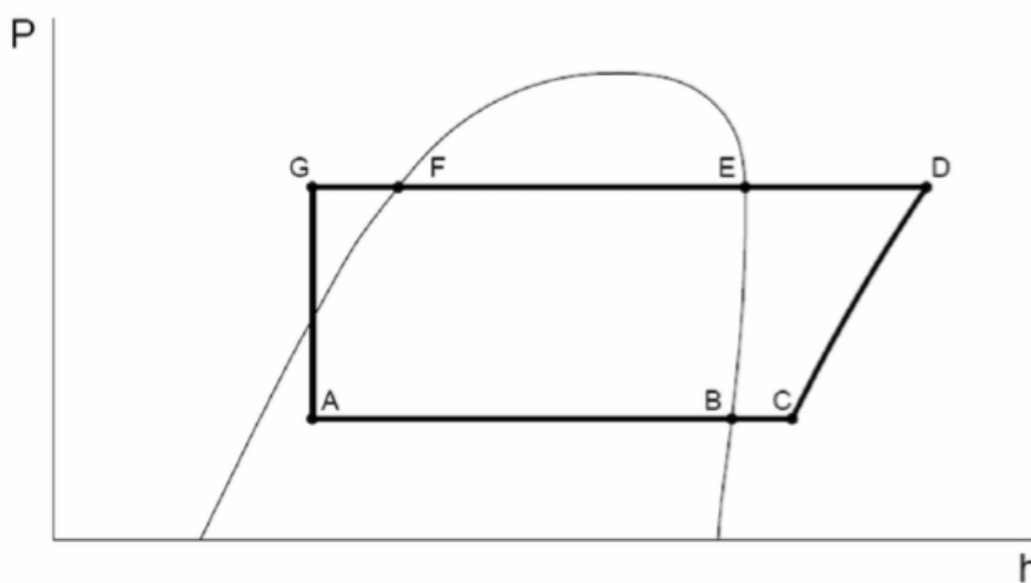
Fuente: (Santos B. D., 2010)

El compresor comprime el gas elevando su presión desde la presión de baja presión de evaporación hasta la presión de alta. La temperatura del gas también aumenta. En el condensador el refrigerante en estado vapor se enfría, se condensa pasando a estado líquido y se sub-enfría.

El refrigerante en estado líquido se expande, bajando su presión desde la alta presión a la baja presión, disminuyendo la temperatura. Una parte del líquido se transforma en vapor. El refrigerante se evapora completamente, absorbiendo el calor del medio a enfriar.

### 2.3.1 Descripción del funcionamiento

*Grafica 4 Componentes sistema de refrigeración por compresión en un diagrama de Mollier.*



Fuente: (Santos B. D., 2010)

Los procesos que tienen lugar en los elementos de la máquina frigorífica se representan como líneas en la grafica 4 corresponden a:

A – C Evaporador

C – D Compresor

D – G Condensador

G – A Válvula de expansión

Evaporador:

línea (A-C) en la grafica 4, En el Punto A llega al evaporador una mezcla de refrigerante líquido y refrigerante vapor procedente del dispositivo de expansión. Esta mezcla se encuentra a baja temperatura y a baja presión, la línea A – B es la línea que indica el proceso frigorífico del sistema.

Compresor:

línea C – D en la grafica 4. Durante el proceso de compresión, el refrigerante aumenta su presión y como consecuencia, su temperatura

Condensador:

Línea D – G en la grafica 4, En el Punto D se recibe el refrigerante del compresor como vapor recalentado, a alta presión y alta temperatura.

En el Punto E, se alcanza la temperatura de rocío del refrigerante a la presión de condensación. A partir de ese instante el vapor refrigerante comienza a condensándose, línea E – F y volviéndose líquido.



En el Punto F todo el refrigerante ha pasado a líquido. Ocurre que, a estas alturas el líquido refrigerante todavía está más caliente que el medio condensante, por lo que todavía se puede enfriar un poco más.

#### Dispositivo de expansión

El dispositivo de expansión es la línea G – A donde el refrigerante pasa desde la presión del condensador hasta la presión del evaporador, a través de un proceso llamado laminación.

## 2.4 SELECCION DEL SISTEMA DE REFRIGERACION.

Con el objetivo de escoger el sistema de refrigeración mas apropiado se realizó una comparación de los sistemas de refrigeración comúnmente utilizados en la industria para la refrigeración de aire en turbinas con este tipo de aplicación, sistema de refrigeración por Absorción y sistema de refrigeración por Compresión, para esto se evaluaron varios parámetros importantes.

### 2.4.1 Fuente de alimentación del Sistema

El primer punto para evaluar es la fuente de alimentación de cada Sistema:

Tabla 1 Fuente de alimentación de cada sistema.

|                               | <b>Sistema por compresión</b> | <b>Sistema por Absorción</b>  |
|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| <b>Fuente de alimentación</b> | Energía Eléctrica             | Gases de escape de la turbina |

Fuente: Autor

Como se puede observar en la Tabla 1. El Sistema de refrigeración por compresión es mucho mas costoso debido a que su consumo es mayor, esto se debe principalmente a que la compresión que realiza este Sistema es por medio de motores (compresor), al contrario sucede con el Sistema de

refrigeración por absorción ya que su fuente de alimentación puede ser cualquier fuente externa que proporcione calor.

Para el caso particular de la central los gases de escape no están siendo utilizados en ningún proceso de cogeneración actualmente sino que se están expulsando al medio ambiente.

#### 2.4.2 Consumo de Energía del Sistema.

Con el Sistema de compresión el aumento en la potencia generada por los turbogeneradores seria menor debido a que este Sistema consume mas energía eléctrica ya que necesita una fuente externa de alimentación para mover el compresor, entonces parte de la energía que estamos aumentando se estaría gastando en el Sistema de refrigeración, Pero lo contrario sucede con el Sistema de Refrigeración por absorción debido a que con este Sistema no se utiliza una fuente de energía externa sino que se alimenta el Sistema con los gases de escape de la maquina, por lo cual el consumo eléctrico es mucho menor, debido a que solo incurriría en las dos bombas y la instrumentación del Sistema.

Tabla 2 Componentes de cada Sistema de refrigeración que consumen Energía.

|                            | <b>Sistema por compresión</b>                       | <b>Sistema por Absorción</b> |
|----------------------------|---|------------------------------|
| <b>Consumo del Sistema</b> | Compresor o el conjunto de motores que lo conforman | Instrumentación              |
|                            | Bombas  | Bombas                       |
|                            | Instrumentación                                     |                              |

Fuente: Autor

En el caso de la central de generación Hocol, gran parte de la energía eléctrica que aumenta el generador debido al enfriamiento de la temperatura del aire, lo consume el mismo Sistema de refrigeración en el caso de escoger el Sistema de refrigeración por compresión

### 2.4.3 Costo de implementación del sistema

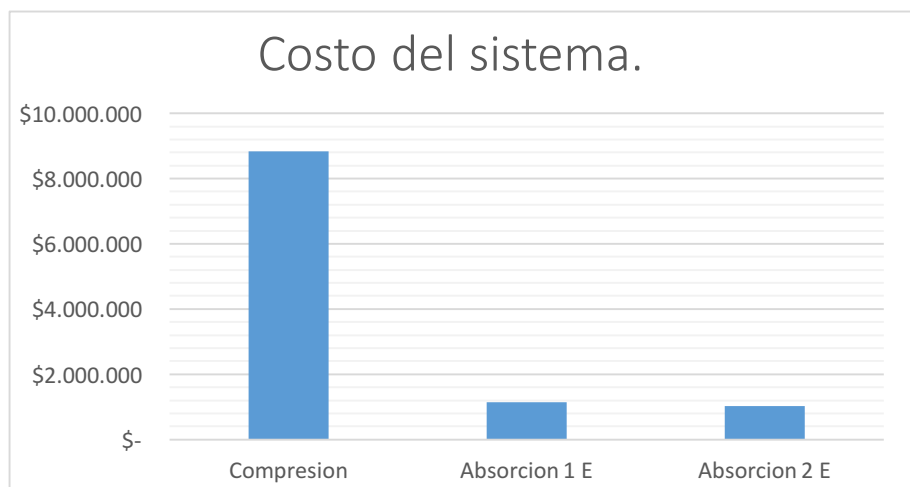
El costo de cada sistema de refrigeración respectivo se realizó comparando para una central de ciclo combinado con las siguientes características (solar, Modelado y simulación de una máquina de absorción de doble efecto en una planta de refrigeración, 2011), Cual es el costo de implementación de un Sistema de Compresión Vs Sistema de absorción de una y dos etapas

Potencia frigorífica máxima requerida. 621.067 KW

Temperatura máxima ambiente: 45.2 °C

Cual es el costo de implementación de un Sistema de Compresión Vs Sistema de absorción de una y dos etapas

*Grafica 5. Costo de cada sistema de refrigeración.*



Fuente: Autor

A partir de la información suministrada por la grafica 5, la relación entre el costo de un Sistema de compresión y uno de absorción es aproximadamente 8 a 1, esto es debido a que el Sistema de refrigeración por compresión la mayoría de sus componentes son motores y elementos móviles que elevan el costo de esta tecnología para enfriar Agua.

#### 2.4.4 Eficiencia del Sistema

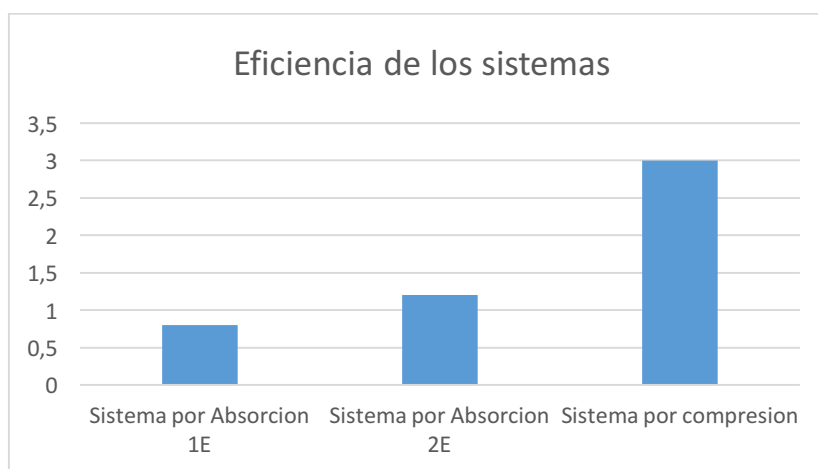
Tabla 3 Eficiencia de cada sistema.

|                     | Sistema por compresión | Sistema por Absorción |
|---------------------|------------------------|-----------------------|
| <b>Eficiencia %</b> | 3.0 a 5.0              | 0.7 a 1.0             |

Fuente: (solar, Modelado y simulación de una máquina de absorción de doble efecto en una planta de refrigeración, 2011)

Como se puede observar en la Tabla 3 la eficiencia de un Sistema por compresión es mucho mayor que la de un Sistema de refrigeración por absorción en relación de 3 a 1 aprox.

*Grafica 6. Eficiencia de los sistemas de refrigeración*



Fuente: Autor

A continuación en la tabla 4 de puede observar la comparación en otros aspectos diferentes.

Tabla 4 Comparación sistema de absorción Vs sistema por compresión

|                                 | <b>Sistema de Refrigeracion por Absorcion</b> | <b>Sistema de Refrigeracion por compresion</b> |
|---------------------------------|---|--|
| <b>Consumo electrico</b>        | Menor   |  |
| <b>Costo Inicial</b>            |   | Menor  |
| <b>Desgaste y mantenimiento</b> | Menor   |  |
| <b>Ruido</b>                    | Menor   |  |
| <b>Medio Ambiente</b>           | Menor   |  |

Fuente: (Gas natural fenosa, 2011; Turbina, tecnologías de enfriamiento del aire de admision; Superheated steam injection rivals combined cycle power performance, 1998; Santos B. D., 2010).

## 2.5 Selección del sistema de refrigeración

El sistema de refrigeracion por absorcion utiliza como fuente de alimentacion los gases de escape de la turbina por ende no tiene necesidad de un consumo electrico externo

El sistema de refrigeracion por absorcion no tiene partes movines, por lo cual el desgaste y mantenimiento son menores y mas baratos, cuentan con muchas horas de servicio continuo sin necesidad de revision

Debido a que el sistema no tiene partes móviles el ruido que emite es casi nulo

El costo inicial del sistema de absorción es menor que el de un sistema convencional por compresión

Los sistemas de refrigeración por absorción usan refrigerantes no agresivos con la capa de ozono.

La eficiencia del sistema de refrigeración por compresión es mucho mayor que el sistema de absorción, en relación de 3 a 1 aprox, esto se evidencia en que el sistema de absorción no puede enfriar agua por debajo de su punto de congelación, contrario que el sistema de compresión. Para el caso de la central de generación Hocol, no es necesario enfriar el agua por debajo de su punto de congelación.

Una de las características más importantes para seleccionar el sistema de refrigeración por absorción es que puede alimentarse con una fuente de energía externa, en este caso los gases de escape de la turbina y de esta manera implementar el sistema como un sistema de cogeneración, debido a que se utiliza el aire caliente como medio de alimentación principal para la máquina de refrigeración por absorción. En el caso de la máquina de refrigeración por compresión es necesario alimentarla con un consumo eléctrico externo y en este caso no es eficiente debido a que parte de la potencia que aumentamos enfriando se gastaría en el mismo sistema de refrigeración; debido a estas razones se escogió por absorción.

### **3 CAPITULO 3. CALCULOS PARA EL SISTEMA DE REFRIGERACION**

#### **3.1 DESCRIPCION DEL SISTEMA DE REFRIGERACION**

La topología del diseño propuesto cumple con el mismo principio de funcionamiento que el radiador de una carro, el sistema tiene como objeto utilizar los gases de escape de la turbina (aire caliente) como fuente de alimentación , debido a que actualmente se esta expulsando este aire caliente al ambiente y no se esta utilizando en ningún proceso de cogeneración, este aire caliente sirve como fuente de alimentación para la maquina de absorción.

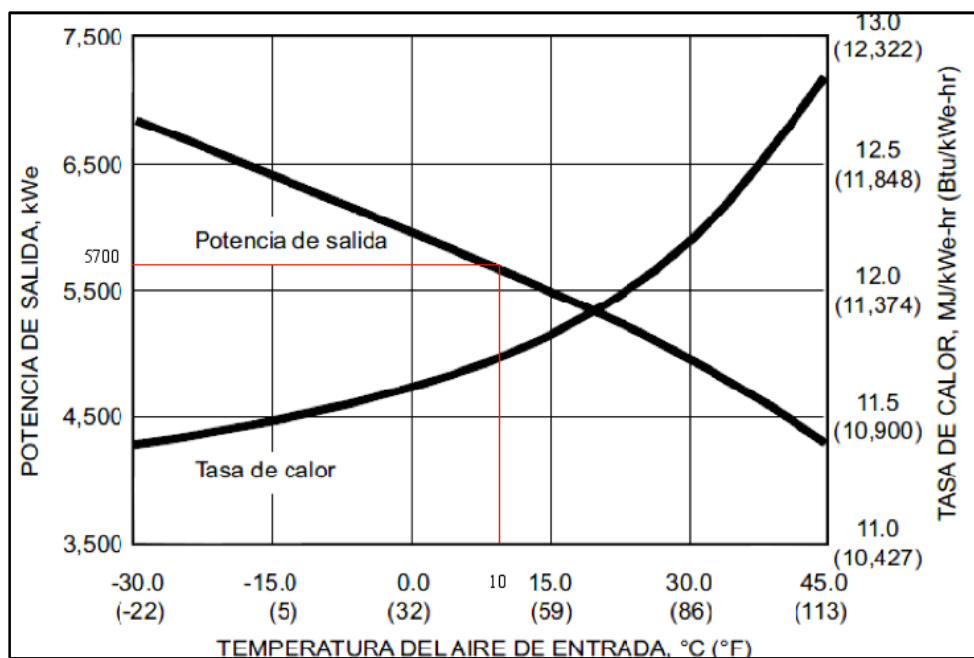
El objetivo de la maquina de absorción es enfriar agua.

Debido a esto es necesario diseñar un intercambiador de calor el cual se colocara a la entrada del compresor de aire y por medio de este circular el agua proveniente de la maquina de absorción, así de esta manera enfriar el aire de entrada al turbo generador, funcionando igual que el principio del radiador de una carro. (ver PL-01)

#### **3.2 BALANCE DE ENERGIA.**

Partiendo de la curva de funcionamiento del turbo generador se puede calcular la potencia frigorífica necesaria para enfriar el aire a 10 ° C.

Grafica 7 Punto de funcionamiento Turbina



Fuente: (Solar Turbines, 2014)

Balance térmico para el aire del intercambiador.

$$\dot{Q} = \dot{m}C_p(T_1 - T_2) \quad (1)$$

Donde:

$C_p$  es el calor específico del aire

$$C_p = 1,010 \left[ \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} * \text{K}} \right]$$

$$\dot{Q} = \left( 21,6 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} \right) \left( 1,010 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} * \text{K}} \right) (24^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C})$$

$$\dot{Q} = 305,4 \text{ [KW]}$$



### 3.3 SELECCIÓN DE LA MAQUINA DE ABSORCIÓN

Existen comercialmente dos maquinas que cumplen con las características requeridas, en la tabla 5 se indican algunas especificaciones

Tabla 5 Características maquina de absorción comerciales.

|  |                    |                 |
|--|--------------------|-----------------|
| <b>Marca</b>   | Grupo Nova Energía | Absorsistem     |
| <b>Modelo</b>  | CHP010             | ED 10C CU       |
| <b>Potencia Frigorífica</b>                                | 351 KW             | 365 KW          |
| <b>Temperatura mínima<br/>del agua de<br/>enfriamiento</b> | 7 °C               | 7 °C            |
| <b>Temperatura de gases<br/>de escape</b>                  | 450 °C / 175 °C    | 600 °C / 200 °C |
| <b>Entrada / Salida</b>                                    |                    |                 |

Fuente: Autor

Para ver los datasheet completos de las maquinas puede ver los anexos 3 y 4

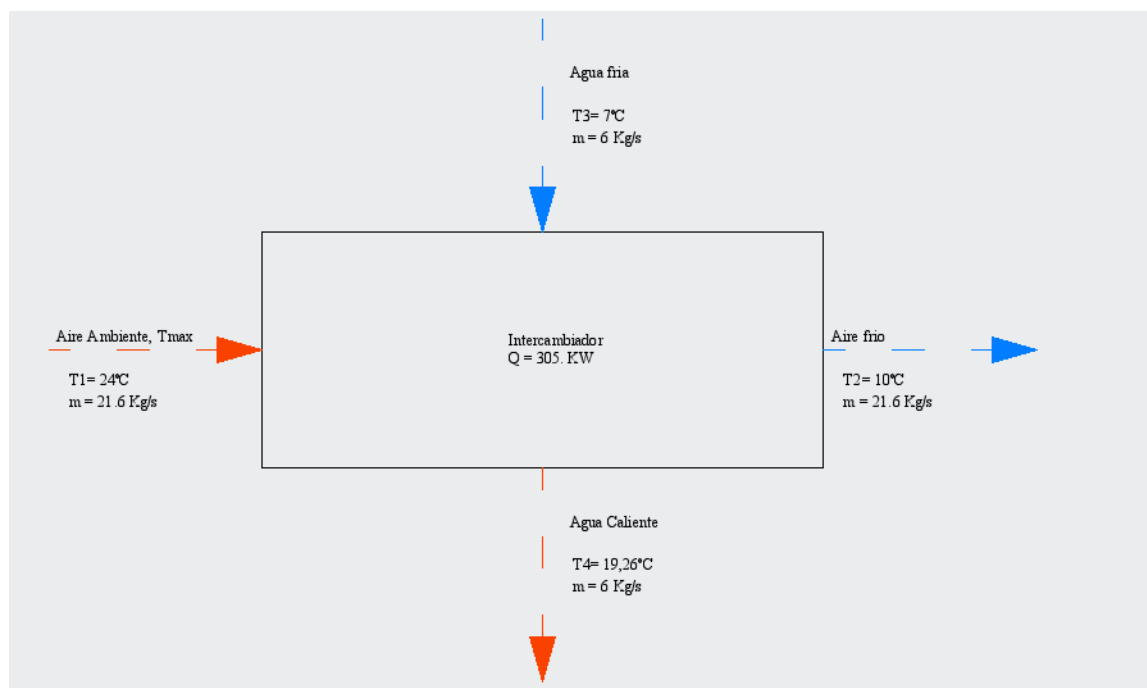
Las dos máquinas son muy parecidas en sus características, pero hay una diferencia que es importante para realizar la selección y es la temperatura de los gases de escape, para las turbinas de Hocol, la temperatura del aire de los gases de escape es del 510 °C, este parámetro hace que se escolar la maquina ED 10C CU de la empresa Absrosistem, debido a que esta maquina tiene un

rango de temperatura de los gases de escape de hasta 600 °C contrario a la CHP010 del grupo Nova energía que tu limite es 450 °C.

#### 4 CAPITULO 4. DISEÑO INTERCAMBIADOR DE CALOR.

Los parámetros de diseño del intercambiador de calor se definen de acuerdo a las características de la temperatura ambiente máxima donde se encuentran ubicadas las máquinas, esta es la temperatura máxima del aire de entrada al intercambiador ( $T_{em\ Amb}$ ), los parámetro de flujo másico de aire se encuentran en el datasheet del la turbina, ver anexo 1 y plano PL-02.

*Figura 9 Parámetros de diseño*



Fuente: Autor.

#### 4.1 BALANCE TÉRMICO

Para el efecto del análisis y consistencia de unidades es necesario ajustar las unidades de temperatura al sistema internacional.

Tabla 6 Conversión de °C a K

| Temperatura °C | Temperatura K |
|----------------|---------------|
| <b>T1 = 24</b> | 297,15        |
| <b>T2 = 10</b> | 283,15        |
| <b>T3 = 7</b>  | 280,15        |

Fuente : Autor

Balance térmico para el aire del intercambiador.

$$\dot{Q} = \dot{m}C_p(T1 - T2)$$

Donde:

$$C_p = \text{Calor específico del aire} \left[ \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} * \text{K}} \right]$$

$\dot{m}$  = Flujo masico de aire [Kg]

el calor especifico del aire es:

$$C_p = 1,010 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} * \text{K}}$$

El flujo másico del aire de entrada al intercambiador es el mismo flujo de aire de entrada al compresor de la turbina, (ver anexo2) el cual muestra que el flujo masico es  $\dot{m} = 77880 \left[ \frac{Kg}{hr} \right]$  para expresarlo en  $\left[ \frac{Kg}{s} \right]$  tenemos que

$$\dot{m} = \left( 77880 \frac{kg}{hr} \right) \left( \frac{1}{3600} \frac{hr}{s} \right) = 21,6 \left[ \frac{kg}{s} \right]$$

$$\dot{m} = 21,6 \left[ \frac{Kg}{s} \right]$$

por lo tanto la potencia térmica es:

$$\dot{Q} = \left( 21,6 \frac{Kg}{s} \right) \left( 1,010 \frac{KJ}{Kg * K} \right) (297,15 K - 283,15 K) = 305,4 [KW]$$

Por medio de la ecuación de balance térmico para el agua se determina la temperatura de salida del agua

$$\dot{Q} = \dot{m}a (h_1 - h_2) \quad (2)$$

donde:

$$h_1 = \text{Entalpia del agua a la entrada del intercambiador} \left[ \frac{KJ}{Kg} \right]$$

$$h_2 = \text{Entalpia del agua a la salida del intercambiador} \left[ \frac{KJ}{Kg} \right]$$

Se determina la entalpía del agua a la entrada del intercambiador de acuerdo con la tabla A2 del anexo 5 a presión de 0,2 MPa y temperatura a la entrada de  $T_3 = 7^\circ C$  que es igual a 280,15 K

$$h_1 = 30,1 \frac{KJ}{Kg}$$

La entalpia del agua de salida se determina por:

$$h_2 = h_1 + \frac{\dot{Q}}{\dot{m}a} \quad (3)$$

donde:

$$h_1 = \text{Entalpia del agua a la entrada del intercambiador} \left[ \frac{KJ}{Kg} \right]$$

$$\dot{Q} = \text{Potencia termica el intercambiador [W]}$$

$$\dot{m}a = \text{Flujo masico del agua} \left[ \frac{Kg}{s} \right]$$

donde el flujo masico del agua se selecciona de forma aleatoria para el diseño.

$$h_2 = 30,01 \frac{KJ}{Kg} + \frac{305,4 KW}{6 Kg/s} = 80,91 \frac{KJ}{Kg}$$

De igual forma por medio de la tabla A2 (ver anexo 5 ), de determina la temperatura

$$T_4 = 19,26 \text{ } ^\circ\text{C} = 292,41 K$$

Temperatura media del agua en el intercambiador:

$$\bar{T}_{agua} = (T_3 + T_4) * 0,5 = (280,15 K + 292,41 K)(0,5) = 286,28 K \quad (4)$$

donde:

$$T_3 = \text{Tempertura de entrada del agua al intercambiador [K]}$$

$T4$  = Tempertura de salida del agua del intercambiador [K]

Temperatura media del aire en el intercambiador:

$$\bar{T}_{aire} = (T1 + T2) * 0,5 = (297,15 K + 283,15 K)(0,5) = 290,15 K \text{ (5)}$$

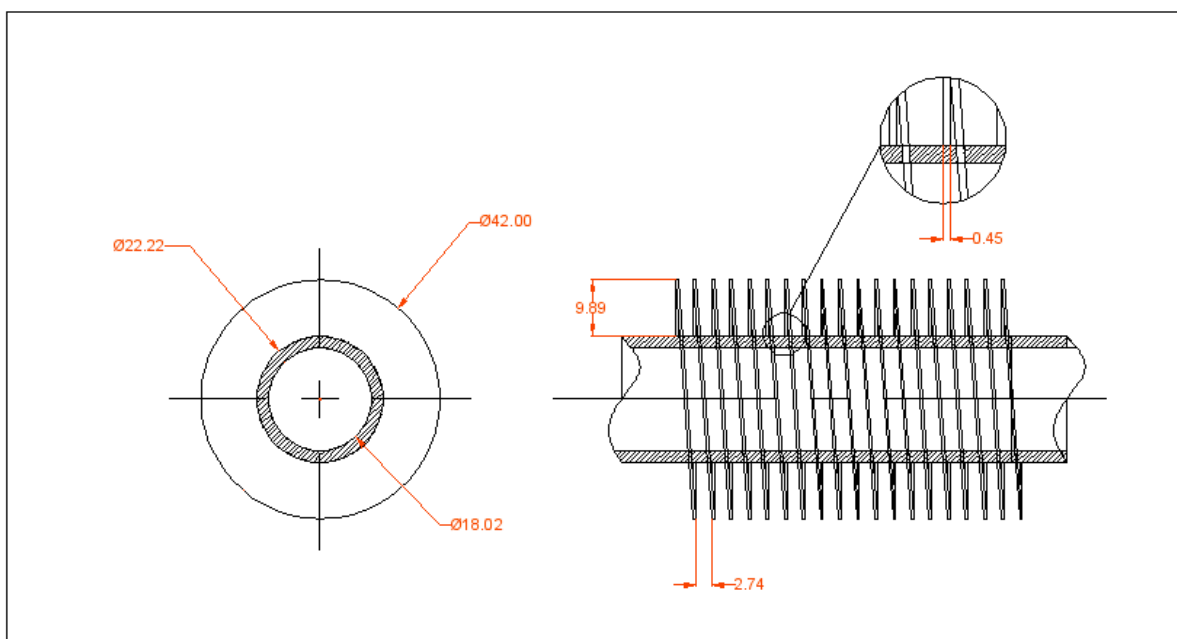
$T3$  = Tempertura de entrada del aire al intercambiador [K]

$T4$  = Tempertura de salida del aire del intercambiador [K]

## 4.2 CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS DEL INTERCAMBIADOR

Se diseñara un intercambiador de calor en forma de banco de tubos aletados con una disposicion de tubos en triangulo y circulacion de fluidos en contraflujo. Para esto se selecciona en primer medida un tubo comercial de acero al carbono aletado, las características del tubo se encuentran en la Figura 10 y el datasheet del fabricante en el anexo 6, en el plano – PL-03 se encuentra el detalle del tubo.

*Figura 10 Características tubo de acero al carbono aletado*



Fuente: Autor

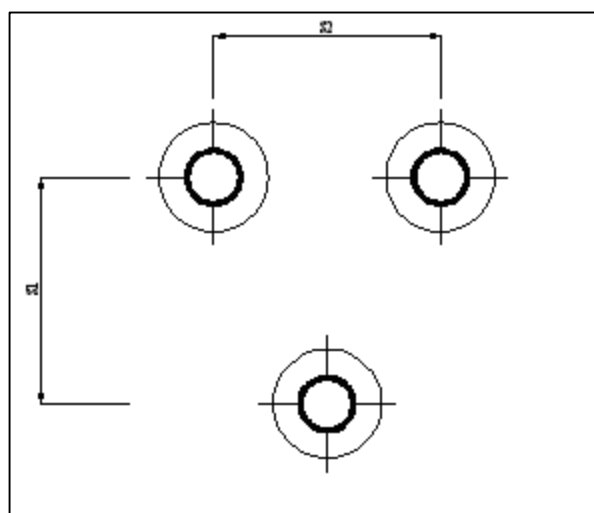
Las características del Tubo externo con aletas en espira también se pueden ver en a tabla 7.:

Tabla 7 Especificaciones del tubo aletado.

| Tubo Externo   |                                 |                     |
|--|---------------------------------|---------------------|
| <b>Material Aletas</b>                                 | Aluminio                        |                     |
| <b>Diámetro del tubo que lleva las aletas</b>          | $d = 0,022$                     | [m]                 |
| <b>Altura de la aleta</b>                              | $la = 0,0098$                   | [m]                 |
| <b>Paso entre aletas</b>                               | $S_A = 0,00273$                 | [m]                 |
| <b>Espesor de las aletas</b>                           | $\delta_A = 4.5 \times 10^{-4}$ | [m]                 |
| <b>Resistencia térmica por contacto acero-aluminio</b> | $R_C = 5.89 \times 10^{-4}$     | $\frac{m^2 * K}{W}$ |

Fuente: Autor.

*Figura 11 Disposición en triángulo de los tubos aletados*



Fuente: Autor

### 4.3 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS RELATIVAS DE LOS TUBOS ALETADOS.

Se determina el área de la superficie de las aletas para una longitud de un metro de tubo:

$$A_{a1} = \frac{\pi}{2} (D^2 - d^2 + 2D\delta_A) \frac{La}{S_A} \quad (6)$$

donde:

$D$  = Diámetro de la aleta [m]

$d$  = Diámetro del tubo que lleva la aleta [m]

$\delta_A$  = Espesor de la aleta [m]

$La$  = Longitud del tubo [m]



$S_A$  = Paso entre aletas [m]

se determina el diámetro de la aleta:

$$D = d + 2 * la \quad (7)$$

donde:

$d$  = Diámetro del tubo que lleva la aleta [m]

$la$  = Altura de la aleta [m]

$$D = 0,022 \, m + 2 * 0,0098 \, m = 0,0418 \, [m]$$

Se evalúa el área de la superficie de las aletas en un 1m:

$$A_{a1} = \frac{\pi}{2} \left( (0,0418 \, m)^2 - (0,022 \, m)^2 + 2 * 0,0418 \, m * 0,00045 \, m \right) \frac{1}{0,00273 \, m}$$

$$A_{a1} = 0,7438 \, [m^2]$$

El área de superficie del tubo que no esta ocupada por las aletas en un metro de longitud del tubo aletado es:

$$A_{T1} = \pi * d \left[ La \left( 1 - \frac{\delta_A}{S_A} \right) \right] [m^2] \quad (8)$$

donde:

$d$  = Diámetro del tubo que lleva la aleta [m]

$La$  = Longitud del tubo [m]

$\delta_A$  = Espesor de la aleta [m]

$S_A$  = Paso entre aletas [m]

$$A_{T1} = \pi * 0,022 \text{ m} \left[ 1 * \left( 1 - \frac{0,00045 \text{ m}}{0,00273 \text{ m}^2} \right) \right] [m^2]$$

$$A_{T1} = 0,0577 [m^2]$$

El área de la superficie externa en un metro de longitud de tubo, este valor se obtiene sumando el resultado de la (ec 6) con la (ec 8)

$$A_1 = A_{a1} + A_{T1} \quad (9)$$

donde:

$A_{a1}$  = Área ocupada por las aletas en 1m de tubo [ $m^2$ ]

$A_{T1}$  = Área del tubo que no está ocupada por las aletas [ $m^2$ ]

$$A_1 = 0,7438 \text{ m}^2 + 0,0577 \text{ m}^2 = 0,8015 [m^2]$$

Relación entre el área ocupada por las aletas y el área de la superficie externa del tubo, relación

$A_{a1} / A_1$

$$\frac{A_{a1}}{A_1} = \frac{0,7438 \text{ m}^2}{0,8015 \text{ m}^2} = 0,928$$

Relación entre el área del tubo que no está ocupada por las aletas y el área de la superficie externa del tubo, relación  $A_{T1} / A_1$

$$\frac{A_{T1}}{A_1} = \frac{0,0577 \text{ m}^2}{0,8015 \text{ m}^2} = 0,072$$

Relación entre el área de la superficie externa del tubo y el área del tubo que no esta ocupada por las aletas, relación  $A_1 / A_{T1}$

$$\frac{A_1}{A_{T1}} = \frac{0,8015 \text{ m}^2}{0,0577 \text{ m}^2} = 13,75$$

Área de la superficie interna del tubo en un 1m de longitud

$$A_{int} = \pi * d_{int} * La \quad (10)$$

donde:

$d_{int}$  = Diametro interno del tubo [m]

$La$  = Longitud del tubo [m]

$$A_{int} = \pi * 0.018 \text{ m} * 1\text{m} = 0,0565\text{m}^2$$

Relación entre el área de la superficie externa del tubo y el área interna del tubo, relación  $A_1 / A_{int}$

$$\frac{A_1}{A_{int}} = \frac{0,8015 \text{ m}^2}{0,0565 \text{ m}^2} = 14,19$$

Área de la superficie del tubo que sostiene las aletas en un metro de longitud

$$A_s = \pi * d * La \quad (11)$$

$d$  = Diametro del tubo que lleva las aletas [m]

$La$  = Longitud del tubo [m]

$$A_s = \pi * 0,022 \text{ m} * 1 \text{ m} = 0,0697$$

Relación entre el área de la superficie externa del tubo y el área de la superficie del tubo que sostiene las aletas relación  $A_1 / A_s$  a esta relación es el coeficiente del aletado y se utilizara posteriormente, esta definido por  $\psi_A$

$$\psi_A = \frac{A_1}{A_s} = \frac{0,8015 \text{ m}^2}{0,0697 \text{ m}^2} = 11,5 \quad (12)$$

#### 4.4 DIMENSIONES DEL CONDUCTO DE AIRE Y PASOS ENTRE LOS TUBOS.

Debido a que el arreglo de los tubos es en triangulo, se elige que todos los lados sean iguales, de esta forma los pasos transversal y longitudinal son:

$$S_2 = \frac{\sqrt{3}}{2} S_1 \quad (13)$$

donde:

$S_1$  = Paso transversa entre tubos [m]

Se determina de forma aleatoria una dimensión para el conducto de aire del intercambiador

$a \times b = 0,70 \times 0,50 \text{ m}$

La magnitud del paso transversal entre tubos  $S_1$  se elige considerando la dimensión transversal máxima del tubo aletado, es decir el diámetro externo de la aleta hallado con la ec 7.

$$S_1 = \frac{a}{Z_1 + 0,5} \quad (14)$$

donde:

$Z_1$  = Numero maximo de tubos aletados con una separacion de  $b = 0,50 \text{ m}$

$a$  = Dimension del ducto [m]

para hallar  $S_1$  es importante saber el numero de tubos  $Z_1$ , el cual esta determinado por:

$$Z_1 = \frac{b}{D} \quad (15)$$

donde:

$b$  = Separacion del conducto [m]

$D$  = Diametro externo del tubo [m]

$$Z_1 = \frac{0,50 \text{ m}}{0,0418 \text{ m}} = 11,96 \approx 12 \text{ unidades}$$

entonces  $S_1$  es:

$$S_1 = \frac{0,7 \text{ m}}{12 + 0,5} = 0,056 \text{ m}$$

El paso longitudinal entre tubos esta considerado por la relación:

$$S_2 = \frac{\sqrt{3}}{2} * 0,056 \text{ m} \quad (16)$$

$$S_2 = 0,0485 \text{ m}$$

#### 4.5 VELOCIDAD Y ÁREA PARA EL PASO DEL AIRE.

Para determinar el área libre mínima para el paso del fluido externo (aire) en un arreglo de tubos en triángulo se determina el diámetro relativo del el cual esta dado por:

$$d_{rel} = d + \frac{2 * l_A * \delta_A}{S_A} \quad (17)$$

donde

$d$  = Diámetro del tubo que lleva la aleta [m]

$l_A$  = altura de la aleta [m]

$\delta_A$  = Espesor de la aleta [m]

$S_A$  = Paso entre aletas [m]

$$d_{rel} = 0,022 \text{ m} + \frac{2 * 0,0098 \text{ m} * 0,00045 \text{ m}}{0,00273 \text{ m}} = 0,0252 \text{ m}$$

Se determina el area libre minima para el paso de aire, el cual esta determinada por:

$$F = a * b - Z_1 * b * d_{rel} \quad (18)$$

donde:

$a$  = Dimension del ducto [m]

$b$  = Dimension del ducto [m]

$Z_1$  = Numero maximo de tubos aletados

$d_{rel}$  = Diametro realtivo del tubo aletado [m]

$$F = (0,70 \text{ m} * 0,50 \text{ m}) - (12 * 0,50 \text{ m} * 0,0252 \text{ m}) = 0,1988 \text{ m}^2$$

Velocidad del aire:

$$u_g = \frac{\dot{m} * v_g}{F} \quad (19)$$

donde:

$$\dot{m} = \text{Flujo masico de aire} \left[ \frac{\text{Kg}}{\text{s}} \right]$$

$$v_g = \text{Volumen especifico del aire} \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{Kg}} \right]$$

$$F = \text{Area libre minima para el paso de aire} [\text{m}^2]$$

Según la tabla de propiedades psicometricas del aire seco del anexo 7, el volumen especifico del aire a 290,15 °K ó 17 °C es:

$$v_g = 0,8217 \frac{\text{m}^3}{\text{Kg}}$$

Por lo tanto la velocidad del aire es:

$$u_g = \frac{21,6 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} * 0,8217 \frac{\text{m}^3}{\text{Kg}}}{0,1988 \text{ m}^2} = 89,73 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

#### 4.6 VELOCIDAD MEDIA Y ÁREA PARA EL PASO DE AGUA

Para determinar el área libre para el paso del fluido interno es importante saber el número de tubos conectados paralelamente  $Z_p$ , el número de vueltas de los serpentines  $n_x$ , este numero para el arreglo de tubos en triángulo es mayor a 2, por lo tanto

$$n_x = 2$$

$$Z_p = n_x * Z_1 = 2 * 12 = 24 \text{ piezas}$$

Se determina el area libre minima para el paso de agua, el cual esta determinada por:

$$f = Z_p * \frac{\pi * d_{int}^2}{4} \quad (20)$$

donde:

$Z_p$  = Numero de tubos conectados paralelamente [unidades]

$d_{int}$  = Diametro interno del tubo[m]

$$f = 24 * \frac{\pi * (0,018m)^2}{4} = 0.0061 \text{ m}^2$$

Velocidad del agua:

$$u_f = \frac{mia * v_f}{f} \quad (21)$$

donde:

$mia$  = Flujo masico de aire  $\frac{\text{Kg}}{\text{s}}$

$v_f$  = Volumen especifico del agua  $\left[ \frac{\text{m}^3}{\text{Kg}} \right]$



$f$  = Area libre minima para el paso de agua [ $m^2$ ]

De la tabla del anexo 8 se obtiene el volumen específico para el agua a 286,15 °K ó 13,1°C

$$v_g = 0.001 \frac{m^3}{Kg}$$

Por lo tanto la velocidad del agua es:

$$u_f = \frac{6 \frac{Kg}{s} * 0,001 \frac{m^3}{Kg}}{0,0061 m^2} = 0,9836 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

#### 4.7 CÁLCULO DEL ÁREA DE LA SUPERFICIE DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR

El área de la superficie del intercambio de calor se puede encontrar por medio de la siguiente expresión:

$$A = \frac{\dot{Q}}{U * \Delta T} \quad (22)$$

donde:

$Q$  = Potencia termica del intercambiador [W]

$U$  = Coeficiente global de transferencia  $\left[ \frac{W}{m^2 K} \right]$

$\Delta T$  = Valor medio de la diferencia de temperatura [K]

Para poder determinar el área del intercambiador de calor es necesario calcular el coeficiente global de transferencia de calor  $U$  y el valor medio de la diferencia de temperatura  $\Delta T$ .

#### 4.7.1 Coeficiente global de transferencia de calor.

El coeficiente global de transferencia de calor se debe determinar por medio de la siguiente fórmula

$$U = \frac{\psi}{\frac{A_1}{A_{int}} * \frac{1}{h_2} + \frac{A}{A_{int}} * R_T + \frac{1}{h_{1rel}}} \quad (23)$$

donde:

$\frac{A_1}{A_{int}}$  = Relación entre el área de la superficie externa del tubo y el área interna del tubo, relación

$h_2$  = Coeficiente de convección de la pared hacia el fluido  $\left[ \frac{W}{m^2 K} \right]$

$h_{1rel}$  = Coeficiente relativo de convección  $\left[ \frac{W}{m^2 K} \right]$

$R_T$  = Resistencia termica  $\left[ \frac{m^2 * K}{W} \right]$

$\psi$  = Coeficiente de eficiencia termica

En el caso cuando los bancos de tubos aletados estén expuestos a un flujo de un fluido de trabajo limpio, por ejemplo aire, (en los intercambiadores de aire-agua) el coeficiente de eficiencia térmica es igual a  $\psi = 0,95$  (Polupan, pág. 31)

Para determinar la resistencia térmica de la pared de los tubos bimetálicos  $R_T \approx R_C$

$$R_C = 5.89 \times 10^{-4} \frac{m^2 * K}{W}$$

#### 4.7.2 coeficiente de convección relativa $h_{1rel}$

En este caso que el banco de tubos aletados esta expuesto a un fluido de trabajo limpio ( aire )  $h_{1rel}$  se debe determinar usando la fórmula.

$$h_{rel} = \left( \frac{A_A}{A} * E * \mu_A * \psi_E + \frac{A_r}{A} \right) h_c \quad (24)$$

#### 4.7.3 Coeficiente de convección $h_c$

Para calcular  $h_{rel}$  se debe iniciar determinando el coeficiente de convección  $h_c$

El coeficiente de convección relativa de la superficie, esta dado por:

$$h_c = 1,13 * C_q * \frac{K_g}{d} * \left( \frac{v_g * d}{V_g} \right)^n * Pr^{0,33} \quad (25)$$

donde:

$K_g$  = Conductividad termica del aire  $\left[ \frac{W}{m K} \right]$

$d$  = Diámetro del tubo que lleva las aletas [m]

$v_g$  = Velocidad del aire  $\left[ \frac{m}{s} \right]$

$V_g$  = Viscosidad cinemática del aire  $\left[ \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right]$

Pr = Número de Prandtl para el agua

El intercambiador tiene un parámetro debido a su forma constructiva, X, el cual para tubos en triángulo es igual a:

$$X = \frac{\sigma_1}{\sigma_2} - \frac{1,26}{\psi_A} - 2 \quad (26)$$

Donde:

$\sigma_1$  y  $\sigma_2$  = Pasos relativos entre tubos

$\psi_A$  = coeficiente de aletado

los pasos relativos entre tubos están determinados por:

$$\sigma_1 = \frac{S_1}{d} \quad (27)$$

$$\sigma_2 = \frac{S_2}{d} \quad (28)$$

donde:

$S_1$  = Paso transversal entre tubos [m]

$S_2$  = Paso longitudinal entre tubos [m]

$d$  = Diámetro del tubo que lleva la aleta [m]

Pasos relativos entre tubos

$$\sigma_1 = \frac{S_1}{d} = \frac{0,0561 \text{ m}}{0,0222 \text{ m}} = 2,527$$

$$\sigma_2 = \frac{S_2}{d} = \frac{0,0486 \text{ m}}{0,0222 \text{ m}} = 2,189$$

Y el coeficiente de aletado  $\psi_A$  para las aletas anulares resulta de:

$$\psi_A = 11,5$$

Por lo tanto el X es igual a:

$$X = \frac{2,527}{2,189} - \frac{1,26}{11,5} - 2 = -0,955 \quad (29)$$

El exponente n también depende de la forma constructiva del intercambiador por lo que esta en función de X de la siguiente forma

$$n = 0,7 + 0,08 * \tanh(X) + 0,005 * \psi_A \quad (30)$$

donde:

$\psi_A$  = coeficiente de aletado

X = Parámetro de forma del banco de tubos

$$n = 0,7 + 0,08 * \tanh(-0,955) + 0,005 * 11,5 = 0,698$$

El coeficiente  $C_q$  también depende de la forma constructiva del intercambiador por lo que esta en función de X de la siguiente forma

$$C_q = (1,36 - \tanh(X)) * \left( \frac{1,1}{\psi_A + 8} - 0,014 \right) \quad (31)$$

donde:

$X$  = Parámetro de forma del banco de tubos

$\psi_A$  = coeficiente de aletado

$$C_q = (1,36 - \tanh((-0,955)) * \left( \frac{1,1}{11,5 + 8} - 0,014 \right) = 0,0891$$

Viscosidad cinemática  $V_g$ , para el aire se determina con la tabla del anexo 9, para  $T = 290,15$  K o  $17$  °C, siendo:

$$V_g = 1,528 \times 10^{-5} \left[ \frac{m^2}{s} \right]$$

$P_r$ , y  $K_g$  para el aire se determina con la tabla del anexo 10, para  $T = 290,15$  K o  $17$  °C, siendo:

$$P_r = 0.7321$$

$$K_g = 0,0248 \left[ \frac{W}{m \cdot K} \right]$$

El coeficiente de convección relativa de la superficie es:

$$h_c = 1,13 * 1 * 0,0891 * \frac{0,0248}{0,0222} * \left( \frac{89,73 * 0,0222}{1,528 \times 10^{-5}} \right)^{0,698} * 0,7321^{0,33} = 385,7 \left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

#### 4.8 COEFICIENTE DE EFICIENCIA TEÓRICA DE LA ALETA.

Para calcular la eficiencia teórica de la aleta es necesario calcular el valor del parámetro de la aleta  $m$ , y la conductividad térmica de la aleta correspondiente a su temperatura media  $T_A$

Para hallar la temperatura media de la aleta se toma  $E'$  con un valor preliminar, que se le da al coeficiente de eficiencia de la aleta, valor que posteriormente se corrige

De esta forma la temperatura media de la aleta es:

$$T_A = \bar{T}_{aire} - (\bar{T}_{aire} - \bar{T}_{agua}) * E' \quad (32)$$

donde:

$\bar{T}_{aire}$  = Temperatura media del aire  $K$

$\bar{T}_{agua}$  = Temperatura media del agua  $K$

$E'$  = Valor preliminar de la eficiencia de la aleta

$$T_A = 290,15 K - (290,15 K - 286,4 K) * 0,8 = 287,15 K$$

la conductividad térmica del aluminio para  $T = 287,15 K$  es  $K_A = 238 \left[ \frac{W}{m \cdot K} \right]$

se determina el parámetro propio de la aleta  $m$ , el cual esta en función de la convección relativa

$$m = \sqrt{\frac{2 * h_c}{\delta_A * K_A}} \quad (33)$$

donde:

$h_c$  = Coeficiente de convección relativa de la superficie  $\left[ \frac{W}{m^2 K} \right]$

$\delta_A$  = Espesor de la aleta [m]

$K_A$  = Conductividad termica del aluminio  $\left[ \frac{W}{m^2 K} \right]$

$$m = \sqrt{\frac{2 * 385,7 \frac{W}{m^2 K}}{0,00045 m * 238 \frac{W}{m^2 K}}} = 84,7 \left[ \frac{1}{m} \right]$$

Se determina la altura relativa de la aleta, que esta dada por :

$$l'_A = l_A * \left[ 1 + \left( 0,191 + 0,054 \frac{D}{d} \right) * \ln \left( \frac{D}{d} \right) \right] \quad (34)$$

donde:

$l_A$  = Altura de la aleta [m]

$D$  = Diametro de la aleta [m]

$d$  = Diámetro del tubo que lleva la aleta [m]

$$l'_A = 0,0098 m * \left[ 1 + \left( 0,191 + 0,054 * \frac{0,0418 m}{0,0222 m} \right) * \ln \left( \frac{0,0418 m}{0,0222 m} \right) \right]$$

$$l'_A = 0,0126 m$$

la corrección el coeficiente de eficiencia teórico de la aleta es:

$$E = \frac{\tanh(ml'_A)}{ml'_A}$$

donde:



$m =$  parametro de la aleta  $\left[\frac{1}{m}\right]$

$l'_A =$  Altura relativa de la aleta [m]

Por lo tanto el coeficiente de eficiencia teórico de la aleta es:

$$E = \frac{\tanh(ml'_A)}{ml'_A} = \frac{\tanh(84,7 * 0,0126)}{84,7 * 0,0126} = 0,738 \quad (35)$$

Se determina el factor de corrección para el coeficiente de eficiencia teórica de la aleta  $E$  que considera las irregularidades y se calcula por medio de la fórmula.

$$\psi_E = 1 - 0,016 * \left(\frac{D}{d} - 1\right) [1 + \tanh(2 * ml'_A - 1)] \quad (36)$$

donde:

$D =$  Diametro de la aleta [m]

$d =$  Diámetro del tubo que lleva la aleta [m]

$m =$  parametro de la aleta  $\left[\frac{1}{m}\right]$

$l'_A =$  Altura relativa de la aleta [m]

$$\psi_E = 1 - 0,016 * \left(\frac{0,0418 \text{ m}}{0,0222 \text{ m}} - 1\right) [1 + \tanh(2 * 84,7 * 0,0126 - 1)]$$

$$\psi_E = 0,974$$

De esta forma el coeficiente de convección relativo es:

$$h_{1rel} = \left( \frac{A_{a1}}{A_1} * E * \psi_E * \frac{A_{T1}}{A_1} \right) h_c \quad (37)$$

donde:

$\frac{A_{a1}}{A_1}$  Relación entre área ocupada por las aletas y área de la superficie externa del tubo

$E$  = coeficiente de eficiencia teórico de la aleta

$\psi_E$  = Factor de corrección para el coeficiente de eficiencia teórica de la aleta

$\frac{A_{T1}}{A_1}$  Relación entre área del tubo que no esta ocupada por las aletas y área de la superficie externa

$h_c$  = Coeficiente de convección relativa  $\left[ \frac{W}{m^2 K} \right]$

$$h_{1rel} = (0,928 * 0,738 * 0,974 + 0,072) * 385,7$$

$$h_{1rel} = 274,6 \left[ \frac{W}{m^2 K} \right]$$

4.8.1 Coeficiente de convección de la pared hacia el fluido interno  $h_2$

El coeficiente de convección de la pared está dado por:

$$h_2 = \frac{K_f}{d_{int}} \left[ \frac{0,125 * \xi * R_{ef} * Pr_f * C_{ten}}{\lambda + 4,5 * \xi^{0,5} (Pr^{0,7} - 1)} \right] \quad (38)$$

donde:

$K_f$  = conductividad termica del agua  $\left[ \frac{W}{m K} \right]$

$d_{int}$  = Diametro interno del tubo [m]

$Re_f$  = Número de Reynolds

$\lambda$  y  $\xi$  = *Magnitudes en funcion de  $Re_f$*

$Pr_f$  = Numero de Prandtl para el agua

$C_{ten}$  = Factor de correccion

Para determinar el coeficiente de convección es necesario conocer los números de Reynolds y Prandil.

Número de Reynolds

$$Re_f = \frac{u_f * d_{int}}{V_f} \quad (39)$$

donde

$u_f$  = Velocidad media del agua  $\left[\frac{m}{s}\right]$

$d_{int}$  = Diametro interior del tubo [m]

$V_f$  = Viscosidad cinematica del agua  $\left[\frac{m^2}{s}\right]$

la viscosidad cinemática del agua a 286,25 K o 13,3 °C es (ver anexo 8) :

$$V_f = 1,137 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$Re_f = \frac{0.9836 \text{ m/s} * 0,018 \text{ m}}{1,137 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} = 1,557 \times 10^4$$

entonces  $\lambda$  esta determinado por:

$$\lambda = 1 + \frac{900}{Re_f} \quad (40)$$

donde:

$Re_f$  = Número de Reynolds

$$\lambda = 1 + \frac{900}{1,557 \times 10^4} = 1,058$$

entonces  $\xi$  esta determinado por:

$$\xi = (1,82 * \log(Re_f) - 1,64)^2 \quad (41)$$

donde:

$Re_f$  = Número de Reynolds

$$\xi = (1,82 * \log(1,557 \times 10^4) - 1,64)^{-2} = 0,0279$$

Para determinar el factor de corrección  $C_{tem}$  se evalúa la temperatura media de la superficie interna del tubo  $T_w$  dando valores que posteriormente se corrigen, para el área de la superficie externa del intercambiador  $A' = 100 \text{ m}^2$  y para el coeficiente de convección  $h'_2 = 3500 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}} \right]$

Debido al valor de  $A'$  es necesario calcular nuevamente el área interior  $A'_{int}$

$$A'_{int} = \frac{A'}{\frac{A_1}{A_{int}}} \quad (42)$$

donde:

$$\frac{A_1}{A_{int}} = \text{Relación entre área de la superficie externa del tubo y área interna del tubo [m}^2\text{]}$$

$$A'_{int} = \frac{100 \text{ m}^2}{14,19 \text{ m}^2} = 7,047$$

Temperatura media de la superficie interna del tubo  $T_w$

$$T_w = \bar{T}_{agua} + \frac{\dot{Q}}{A'_{int}} \frac{10^3}{h'_2} \quad (43)$$

donde:

$\bar{T}_{agua}$  = Temperatura media del agua [K]

$\dot{Q}$  = Potencia térmica del intercambiador de calor

$h'_2$  = coeficiente de convección preliminar  $\left[ \frac{W}{m^2 K} \right]$

$$T_w = 286,44 \text{ K} + \frac{305,4 \times 10^3 \text{ W}}{7,047 * 3500 \frac{W}{m^2 K}} = 298,8 \text{ K}$$

el factor de corrección es  $C_{ten}$ :

$$C_{ten} = \left( \frac{\mu_f}{\mu_w} \right)^{0,11} \quad (44)$$

donde:

$\mu_f$  = viscosidad dinámica para la temperatura media del agua  $\left[ \frac{\text{Kg}}{\text{m s}} \right]$

$\mu_f$  = viscosidad dinámica para el agua a  $T_w$   $\left[ \frac{\text{Kg}}{\text{m s}} \right]$

los valores de la viscosidad dinámica del agua se obtienen de la tabla del anexo 11.

$\mu_f$  viscosidad *dinámica* y  $T = 13,13^\circ\text{C}$  o  $286,44\text{ K}$

$$\mu_f = 1,172 \times 10^{-3} \left[ \frac{\text{Kg}}{\text{m s}} \right]$$

$\mu_w$  viscosidad dinámica para y  $T_w = 25,65^\circ\text{C}$  o  $308,71\text{ K}$

$$\mu_w = 0,891 \times 10^{-3} \left[ \frac{\text{Kg}}{\text{m s}} \right]$$

$$C_{ten} = \left( \frac{1,170 \times 10^{-3}}{0,891 \times 10^{-3}} \right)^{0,11} = 1,03$$

Coefficiente de convección:

$$h_2 = \frac{K_f}{d_{int}} \left[ \frac{0,125 * \xi * Re_f * Pr_f * C_{ten}}{\lambda + 4,5 * \xi^{0,5} (Pr^{0,7} - 1)} \right]$$

los valores de  $Pr_f$  y  $K_f$  se determinan de

Numero de Prandtl para la temperatura media del agua a  $13,1^\circ\text{C}$   $Pr_f = 8,37$  (Cengel)

Conductividad térmica del agua a  $13,1^\circ\text{C}$   $K_f = 0,589 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m K}} \right]$  (Cengel)

El coeficiente de convección de la pared es:

$$h_2 = \frac{0,589 \frac{W}{m K}}{0,032 m} \left[ \frac{0,125 * 0,0235 * 3,05 \times 10^4 * 8,37 * 1,529}{1,035 + 4,5 * 0,0245^{0,5} (8,37^{0,7} - 1)} \right]$$

$$h_2 = 4203 \left[ \frac{W}{m^2 K} \right]$$

De esta forma se determina el coeficiente de transferencia global.

$$U = \frac{0,95}{25,7 * \frac{1}{4202 \frac{W}{m^2 K}} + 25,7 * 5,89 \times 10^{-4} \frac{m^2 K}{W} + \frac{1}{274,6 \frac{W}{m^2 K}}} \quad (45)$$

$$U = 61,72 \left[ \frac{W}{m^2 K} \right]$$

Diferencia de temperatura media del intercambiador con circulación de fluidos en contraflujo:

$$\Delta T_{mayor} = T_1 - T_4 = 297,15 K - 292,41 K = 4,8 K \quad (46)$$

$$\Delta T_{menor} = 283,17 - 280,15 = 3 K$$

$$\Delta T = \frac{\Delta T_{mayor} - \Delta T_{menor}}{\ln \left( \frac{\Delta T_{mayor}}{\Delta T_{menor}} \right)} = \frac{4,8 - 3}{\ln \left( \frac{4,8}{3} \right)} = 3,83 K$$

4.8.2 Área de la superficie de intercambio de calor:

$$A = \frac{Q \times 10^3}{U * \Delta T} = \frac{305,4 \times 10^3}{61,7 * 3,83} = 1292 m^2 \quad (47)$$

Relación  $A/A_1$

$$\frac{A}{A_1} = 1612$$

Cantidad de tubos c/u 10 m

$$L = 161,2 \text{ unidades}$$

Para seleccionar un intercambiador de calor comercial se escogió un intercambiador de calor de Tubos marca Funke para realizar la comparación entre el que diseñamos y de esta manera realizar la selección, en el anexo12 se encuentra el datasheet del intercambiador, para seleccionar el intercambiador se tienen en cuenta tres características importantes, Potencia Calorífica, Superficie de contacto y temperatura de servicio

Tabla 8.Comparación entre el intercambiador de calor diseñado y uno comercial.

|                                    | <b>Intercambiador de calor<br/>diseñado</b> | <b>Intercambiador de calor<br/>seleccionado</b> |
|------------------------------------|---|---|
| <b>Potencia Calorífica</b>         | 0.305 MW                                    | 30 MW   |
| <b>Superficie de Contacto</b>      | 1292 m <sup>2</sup>                         | 2000 m <sup>2</sup>                             |
| <b>Temperatura de<br/>Servicio</b> | 24°C – 10°C                                 | –20°C a 500°C                                   |

Fuente: Autor

En la tabla 8 se observa la comparación entre el intercambiador de calor seleccionado y el diseñado, para seleccionar un equipo se debe tener en cuenta que tenga un porcentaje de tolerancia del 20% aproximadamente en el área de contacto.



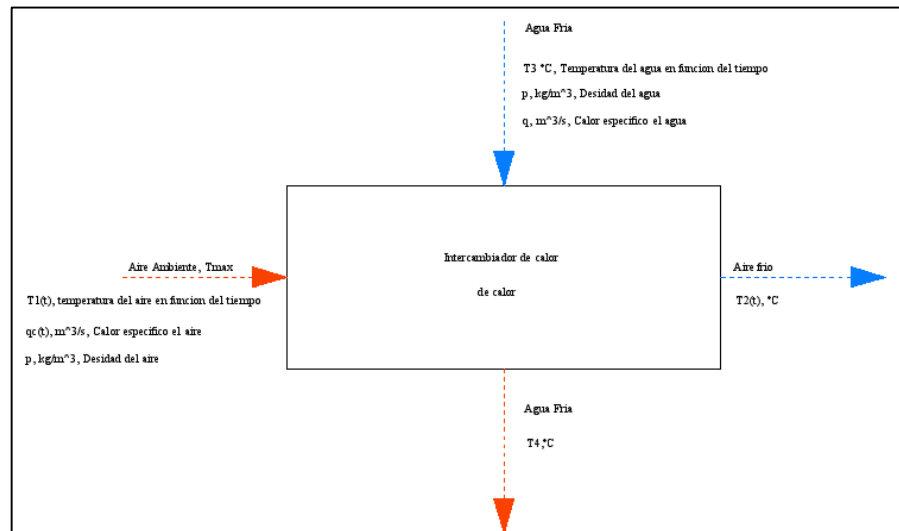
Teniendo en cuenta la tolerancia se puede concluir que el intercambiador de calor Funke (Ver anexo 12) cumple con las especificaciones necesarias del intercambiador diseñado a pesar de que su potencia y especificaciones superan en gran manera la potencia requerida

#### **4.9 FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA DEL INTERCAMBIADOR.**

Para describir las ecuaciones del sistema se puede observar la figura 12, donde se ven las variables que entran al intercambiador y las que salen con el fin de plantear un balance de energía del sistema es importante realizar un balance de energía para el fluido que se procesa, en este caso aire, y el fluido refrigerante, en este caso agua,

Realizar el balance de energía en el tiempo va a permitir ver como la temperatura de los fluidos dentro del intercambiador cambiar con respecto al tiempo, de la siguiente manera:

*Figura 12 Variables de entrada y salida del intercambiador.*



Fuente: Autor

Se realiza un balance de energía para el aire de la siguiente manera, en el primer término de la ecuación se muestra la energía del aire a la entrada, es la cantidad de energía que entra al intercambiador, en el segundo término se muestra la cantidad de energía que el aire cede al agua, para esto se tienen en cuenta los valores de  $U$ , coeficiente global de transferencia de calor, y  $A$ , área de contacto, valores que se determinaron en el apartado anterior, el tercer termino muestra la energía de salida del aire o la cantidad de energía que sale de intercambiador, y Finalmente el cuarto termino expresa la cantidad de energía del aire en el interior del intercambiador quedando la expresión para el balance de energía del aire de la siguiente manera

$$qpC_p T1(t) - UA[T2(t) - T4(t)] - qpC_p T2(t) = VpC_p \frac{dT(t)}{dt} \quad (48)$$

donde:

$U$  = Coeficiente de transferencia calorífica de la cara interna se supone constante.  $\left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$

$A$  = Área de transferencia de calor  $[m^2]$

$q$  = Flujo de aire  $\left[ \frac{m^3}{s} \right]$

$C_p$  = Calor específico del del aire  $\left[ \frac{J}{Kg * K} \right]$

$V$  = Volumen  $[m^3]$

el volumen se determina con base en el Área de contacto determinada y la cantidad de tubos en el intercambiador.

Balance de energía para el agua

El balance de energía para el agua es similar al que se realizó para el aire, el balance de energía para el agua se realiza de la siguiente manera, el primer término de la ecuación muestra la energía que ingresa al intercambiador a través del agua, en el segundo término se muestra la cantidad de energía que el agua toma del aire, para esto se tienen en cuenta los valores de  $U$ , coeficiente global de transferencia de calor, y  $A$ , área de contacto, valores que se determinaron en el apartado anterior, el tercer término muestra la energía de salida del agua o la cantidad de energía que sale de intercambiador a través del agua, y Finalmente el cuarto término expresa la cantidad de energía del agua en el interior del intercambiador quedando la expresión para el balance de energía del aire de la siguiente manera

$$q(t)p_a C_a T_3(t) + UA(T_2(t) - T_4(t)) - qp_a C_a T_4(t) = Vp C_a \frac{dT(t)}{dt} \quad (49)$$

Donde:

$$U = \text{Coeficiente global de transferencia de calor} \cdot \left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

$$A = \text{Área de transferencia de calor} [m^2]$$

$$q(t) = \text{Flujo de agua} \left[ \frac{m^3}{s} \right]$$

$$C_p = \text{Calor específico del agua} \left[ \frac{J}{Kg \cdot K} \right]$$

$$\rho_a = \text{Densidad del agua} \left[ \frac{Kg}{m^3} \right]$$

Para comprobar la igualdad de las ecuaciones se realiza un análisis bidimensional o análisis de unidades para demostrar que todos los términos son semejantes, este análisis se puede ver en la tabla 9.

Tabla 9 Análisis de unidades

| Termino  | $q(t) \rho C_p T_1(t)$  |
|----------|---|
| Análisis | $\left( \frac{m^3}{s} \right) \left( \frac{Kg}{m^3} \right) \left( \frac{J}{Kg \cdot K} \right) (K) = \left( \frac{J}{s} \right) = W$ |

|                |   |                                     |
|----------------|---|-------------------------------------|
| Termino        | $UA[T2(t) - T4(t)]$   |                                     |
| Análisis       | $\left(\frac{W}{m^2K}\right)(m^2)(K)$   | como $W = \left[\frac{J}{s}\right]$ |
|                | $\left(\frac{J}{m^2 s K}\right)(m^2)(K) = W$                                      |                                     |
| Termino        | $VpC_v$   |                                     |
| Análisis       | $(m^3)\left(\frac{Kg}{m^3}\right)\left(\frac{J}{Kg K}\right)\frac{dT(t)}{dt} = W$ |                                     |
| Fuente : Autor |   |                                     |

#### 4.10 Función de transferencia.

Para determinar las funciones de transferencia de las ecuaciones previas se utilizó la ayuda del software MATLAB. A continuación se muestra el proceso:

Función de transferencia de la ecuación 48

$$T(S) = \frac{1}{\frac{VpC_p}{qpC_p + UA} s + 1} \left[ \frac{qpC_p}{qpC_p + UA} T1(s) + \frac{UA}{qpC_p + UA} T4(s) \right] \quad (50)$$

para simplificar la ecuación definiremos variables que representaran términos de la ecuación

Tabla 10 Asignación de variables.

| Nombre<br>variable | Asignación                 |
|--------------------|----------------------------|
| A                  | $\frac{qpC_p}{qpC_p + UA}$ |
| B                  | $\frac{UA}{qpC_p + UA}$    |
| C                  | $\frac{VpC_p}{qpC_p + UA}$ |

Fuente: Autor

Como resultado la ecuación queda escrita de la siguiente manera

$$T(S) = \frac{1}{Cs + 1} [A T1(s) + B T4(s)] \quad (51)$$

Función de transferencia de la ecuación 49

$$T_4(S) = \frac{1}{\frac{V_c p_c C_{Vc}}{q_c p_c C_{pc} + h_{1real} A} s + 1} \left[ \frac{q_c p_c C_{pc}}{q_c p_c C_{pc} + h_{1real} A} T_3(s) - \frac{p_c C_{pc} T_3 - p_c C_{pc} T_4}{q_c p_c C_{pc} + h_{1real} A} Q_C(s) \right. \\ \left. + \frac{h_{1real} A}{q_c p_c C_{pc} + h_{1real} A} T_2(s) \right] \quad (52)$$

para simplificar la ecuación definiremos variables que representaran términos de la ecuación

Tabla 11 Asignación de variables

| Nombre<br>variable | Asignación   |
|--------------------|--|
| <b>D</b>           | $\frac{q_c p_c C_{pc}}{q_c p_c C_{pc} + h_{1real} A}$                      |
| <b>E</b>           | $\frac{p_c C_{pc} T_3 - p_c C_{pc} T_4}{q_c p_c C_{pc} + h_{1real} A} Q_c$ |
| <b>F</b>           | $\frac{h_{1real} A}{q_c p_c C_{pc} + h_{1real} A}$                         |
| <b>G</b>           | $\frac{V_c p_c C_{vc}}{q_c p_c C_{pc} + h_{1real} A}$                      |
| Fuente: Autor      |  |

Como resultado la ecuación queda escrita de la siguiente manera

$$T_4(s) = \frac{1}{G_s + 1} [DT_3(s) - E Q_c(s) + F T_2(s)] \quad (53)$$

Para determinar las funciones de transferencia que relacionan las variables se realiza un proceso algebraico de la siguiente manera , La ecuación 53 describe la variación del aire salida con respecto a la temperatura del aire del entrada

$$\frac{T(s)}{T_1(s)} = \left( \frac{A}{1 - BF} \right) \left( \frac{G s + 1}{\frac{CG}{1 - BF} s^2 + \frac{C + G}{1 - BF} s + 1} \right) \quad (54)$$

La ecuación 54 describe la variación del aire de salida con respecto a la temperatura del agua de entrada,

$$\frac{T(S)}{T_4(S)} = \left( \frac{BD}{1 - BF} \right) \left( \frac{1}{\frac{CG}{1 - BF} s^2 + \frac{C + G}{1 - BF} s + 1} \right) \quad (55)$$

La ecuación 55 describe la variación del aire salida con al flujo del agua de entrada

$$\frac{T(S)}{Q(S)} = \left( \frac{-EB}{1 - BF} \right) \left( \frac{1}{\frac{CG}{1 - BF} s^2 + \frac{C + G}{1 - BF} s + 1} \right) \quad (56)$$

Las ecuaciones anteriores describen el comportamiento del proceso de refrigeración, la primer ecuación relaciona el cambio de la temperatura del aire de salida con respecto a la variación de la temperatura del aire de entrada, la segunda ecuación describe el cambio de la temperatura de salida del aire con respecto a la temperatura del agua de entrada, y la tercera describe el cambio de la temperatura del aire de salida conforme varia el flujo del agua en el intercambiador.

#### **4.10.1 válvula de control.**

En este punto falta añadir al Sistema el efecto que tiene la válvula que va a regular la cantidad de agua de entrada al intercambiador.

A continuación se diseña la válvula de control que determina la cantidad de agua que entra al intercambiador



Para determinar el Kv de la válvula es necesario especificar el rango de flujos dentro de los cuales va a funcionar, en este caso se muestra en la tabla 12

Tabla 12 Parámetros de la válvula

| <b>Cantidad de flujo.</b> |         |
|---------------------------|---------|
| <b>Flujo máximo</b>       | 10 Kg/s |
| <b>Flujo mínimo</b>       | 2 Kg/s  |

Fuente: Autor

$$kv = \frac{10 \text{ Kg/s} - 2 \text{ Kg/s}}{20 \text{ mA} - 4 \text{ mA}} = \frac{8}{16} = 0.5 \frac{\text{Kg/s}}{\text{mA}} \quad (57)$$

La función de transferencia de la válvula esta dada por

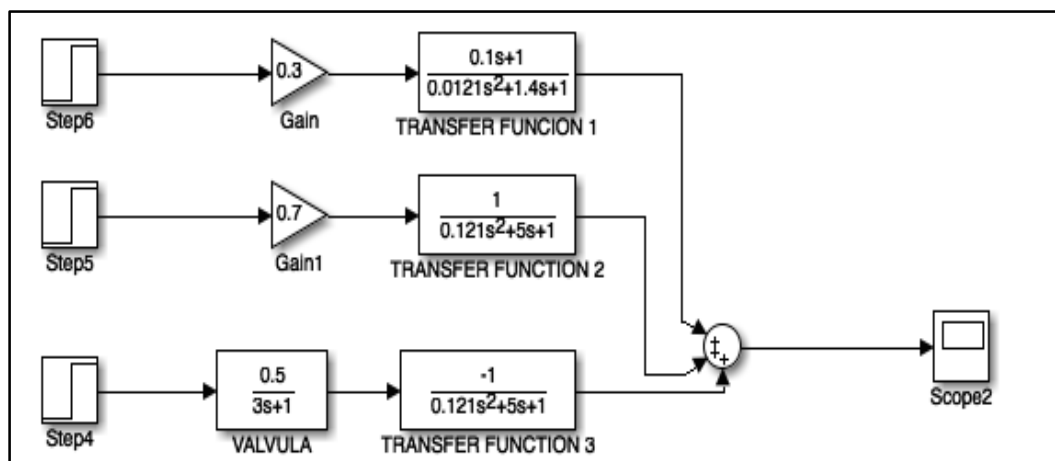
$$G_s = \frac{K_v}{3s + 1}$$

$$G_s = \frac{0.5}{3s + 1}$$

Para graficar las ecuaciones se utiliza el programa *Simulik*, en donde las tres señales se suman y así se puede ver el comportamiento del sistema, la válvula que controla el flujo del agua dentro del intercambiador se coloca en serie a la función de transferencia del flujo de agua.

En la Figura 13 se muestran las funciones transferencia en el orden citadas anteriormente.

*Figura 13 Simulación del sistema*

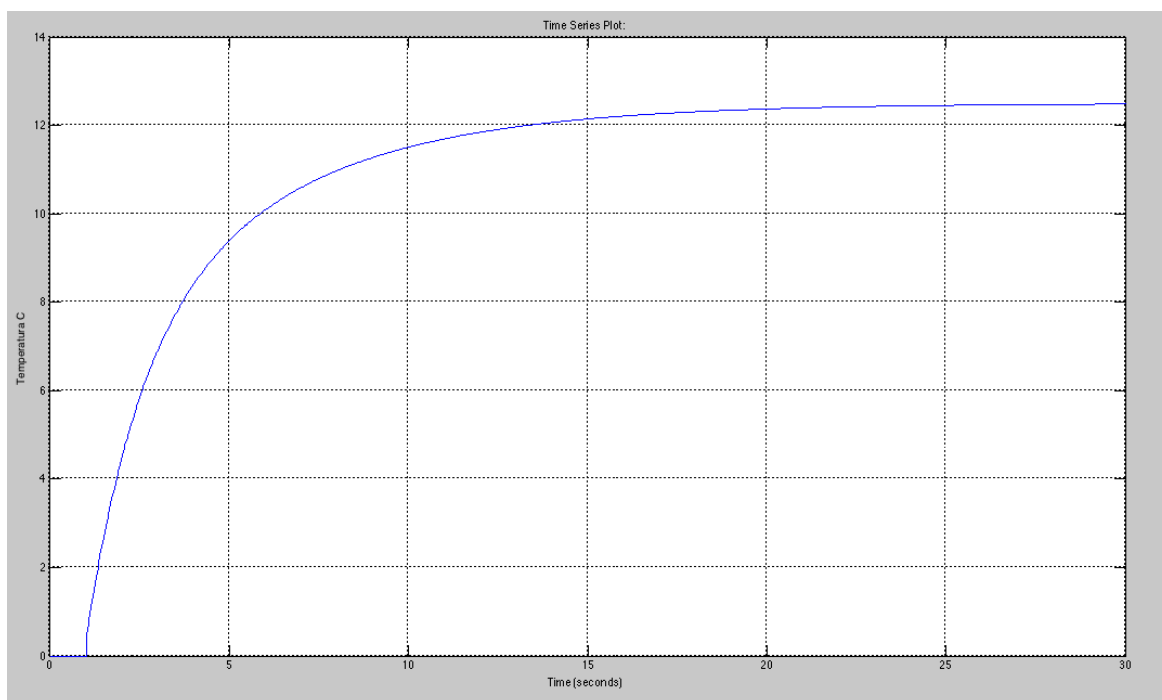


Fuente: Autor.

De las variables que intervienen en el proceso la que se puede manipular es el flujo de masa de entrada al intercambiador, las otras dos variables como lo son la temperatura del aire de entrada – *Función de transferencia 1* - y temperatura del agua de entrada – *Función de transferencia 2*, son variables que no son posibles de manipular, por lo cual se considerarán como perturbaciones en el proceso.

Como resultado de la simulación obtenemos el comportamiento del sistema el cual se puede observar en la grafica 8.

*Grafica 8 Simulación del sistema*



Fuente: Autor

Analizando el comportamiento del intercambiador, el cual se puede observar en la gráfica 8, se evidencia que el tiempo de establecimiento de la temperatura comienza aproximadamente en 20 s, y el valor en un tiempo  $\tau$  del sistema es 7,9.

Debido a que el tiempo de establecimiento de la señal del sistema se puede mejorar con un sistema de control, se realiza el diseño de un sistema de control que permita establecer la señal en un tiempo más corto y que siempre garantice las características de funcionamiento del sistema.

## 5 CAPITULO 5. INSTRUMENTACION Y DISEÑO ELECTRICO

Para realizar el control de sistema es necesario captar tres variables

1. Temperatura del aire de entrada del compresor de la turbina
2. Temperatura del aire ambiente
3. Válvula de control del agua del intercambiador de calor

### 5.1 Transmisor de temperatura

Para detectar la temperatura de entrada del aire al intercambiador de calor y la temperatura ambiente, es necesario utilizar un transmisor de temperatura análogo como una PT100.

Para seleccionar el transmisor es importante tener en cuenta que la industria es de Oil & Gas, para seleccionar una empresa que tenga los permisos requeridos para poder instalar dicho instrumento en el campo, en el caso de la empresa de generación se utilizan dos marcas instrumentos Vega o Endress + Hauser, como Vega no tiene instrumentación para temperatura se selecciono una PT100 de Endress + Hauser. En la tabla 13 se ven características relevantes del transmisor

Tabla 13 Características PT100

|   |               |
|---|---------------|
| <b>Rango de temperatura ambiente de trabajo</b> | -200 a 600 °C |
| <b>Exactitud</b>                                | 0.1 °C        |

Fuente: Autor

Como resultado en el anexo13 se encuentra el datasheet del transmisor de temperatura seleccionado.

### Válvula de control

En rango de flujo de la válvula de control esta indicado en la tabla14, y el rango se determina de la siguiente manera:

Flujo máximo

$$\left(10 \frac{kg}{s}\right) \left(1 \times 10^{-3} \frac{m^3}{kg}\right) \left(\frac{1L}{0.001m^3}\right) = 10 \frac{L}{s} \quad (58)$$

Flujo mínimo

$$\left(2 \frac{kg}{s}\right) \left(1 \times 10^{-3} \frac{m^3}{kg}\right) \left(\frac{1L}{0.001m^3}\right) = 2 \frac{L}{s} \quad (59)$$

con base en el flujo se selecciono una válvula comercial que cumple con las características, es una válvula de la empresa CLA – VAL modelo 640-01 de 3 pulgadas. En el anexo 14 se encuentra el datasheet de la válvula seleccionada.

## 5.2 Tanque de agua fría.

El agua fría se almacena en un tanque, cuyo soporte sea de una hora sin servicio de esta forma con el tiempo de servicio se establece el volumen del tanque, en condiciones máximas de operación el flujo de agua fría seria

$$Flujo\ Agua\ fria = 10 \frac{L}{s}$$

por lo tanto en una hora se necesitarían

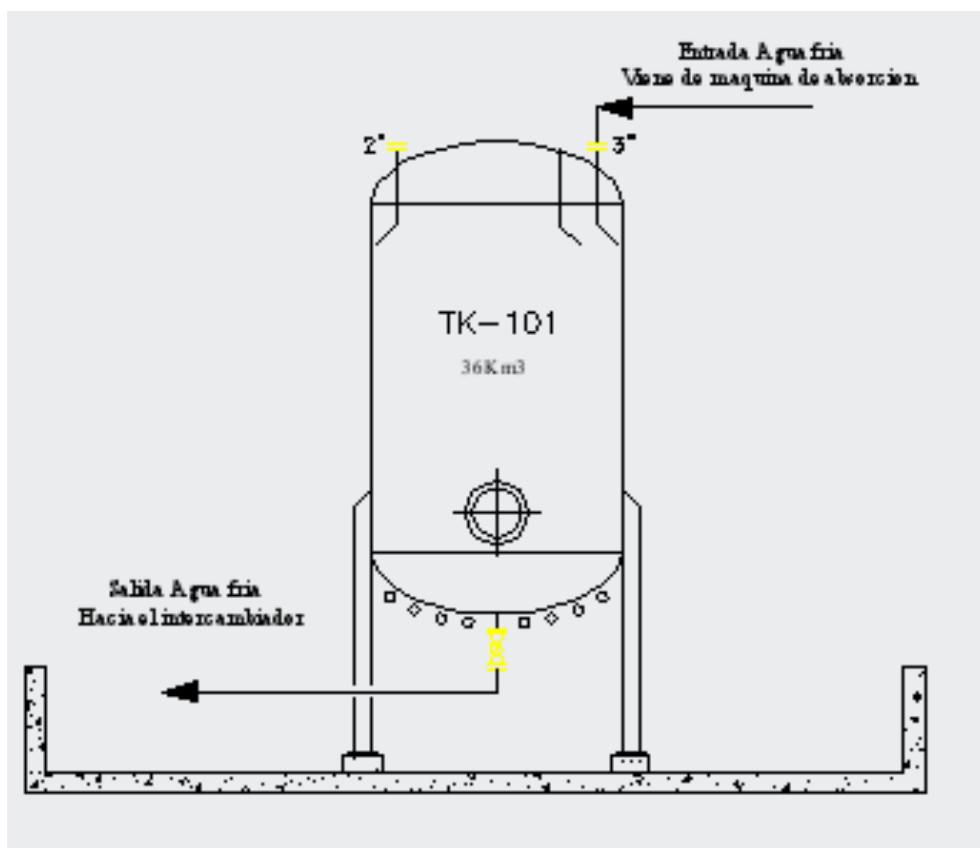
$$V = \left(10 \frac{L}{s}\right) \left(3600 \frac{s}{h}\right) = 36.000 L \quad (60)$$

el volumen del tanque debe ser de 36.000 Litros.

El tanque debe ser un tanque térmico para que conserve la temperatura del agua.

Las Dimensiones del tanque son  $r = 1.5 m$  y  $h = 5.1 m$ , ver plano PL04.y figura 14

*Figura 14 Especificaciones del tanque de agua.*



Fuente: Autor

Para llevar el agua del tanque al intercambiador de calor es necesario utilizar una bomba centrífuga para agua limpia SN50 125A de 5HP, ver en el anexo 15 el datasheet de la bomba.

Tabla 14 Características Bomba.

|                      |               |
|----------------------|---------------|
| <b>Conexión</b>      | 460V, 3F      |
| <b>Potencia</b>      | 4 HP / 5,5 HP |
| <b>Altura máxima</b> | 40 m.a.c.     |

|                      |            |
|----------------------|------------|
| <b>Caudal Máximo</b> | 1200 l/min |
|----------------------|------------|

Fuente: Autor

### **Sensor de Nivel para los tanques**

Es importante tener en cuenta que la bomba no puede arrancar en vacío por ello es necesario instalar un sensor de nivel en el tanque que controle y garantice un nivel de agua en el tanque constante para evitar que la bomba arranque en vacío y sufra daños graves.

Como la aplicación para la que se necesita el sensor es medir el nivel de agua limpia en un tanque térmico-metálico, esta es una aplicación sencilla ya que el agua dentro del tanque no tiene residuos sólidos, ni es agua mezclada con otro solvente ni tampoco presenta espuma.

Por lo tanto para esta aplicación se selecciono un interruptor capacitivo compacto, que solo garantice en encendido de la bomba por encima del nivel de succión de agua, en el anexo 16 se encuentran las especificaciones del interruptor Siemens CLS200,

### **Controlador.**

Para seleccionar el controlador que se va a utilizar se debe tener en cuenta cuales son las variables que entran y salen del sistema, para verlas con mayor facilidad en las tablas 15 y 16 se resumen las señales de entrada y salida respectivamente para un sistema de refrigeración

Tabla 15 Listado de las señales de entrada.

| <b>Variable de Entrada</b> | <b>Punto de medición</b> | <b>Fuente</b> | <b>Tipo</b> |
|----------------------------|--------------------------|---------------|-------------|
|----------------------------|--------------------------|---------------|-------------|



|                            |                                     |                           |         |
|----------------------------|-------------------------------------|---------------------------|---------|
| T° Aire de entrada al TG   | A la entrada del compresor          | Transmisor de temperatura | Análoga |
| T° Ambiente del aire       | A la entrada del intercambiador     | Transmisor de temperatura | Análoga |
| T° Agua fría               | Salida del tanque de almacenamiento | Tanque térmico de agua    | Análoga |
| Nivel de agua en el tanque | Parte superior del tanque           | Tanque térmico de agua    | Digital |

Tabla 16 Listado señales de salida

| <b>Variable de Entrada</b>        | <b>Punto de acción</b> | <b>Tipo</b> |
|-----------------------------------|------------------------|-------------|
| Apertura de la válvula de control | Válvula de control     | Análoga     |
| Encendido de la bomba             | Bomba centrífuga       | Digital     |

Por cada sistema de refrigeración se requieren los siguientes tipos de señales.

Tabla 17 Tipos de señal por sistema de refrigeración

| <b>Entrada</b> |                | <b>Salida</b>  |                |
|----------------|----------------|----------------|----------------|
| <b>Análoga</b> | <b>Digital</b> | <b>Análoga</b> | <b>Digital</b> |
| 3              | 1              | 1              | 1              |

Para dimensionar el controlador es necesario tener en cuenta todas las variables, previendo la instalación de los cinco sistemas de enfriamiento, contando con:

Tabla 18 Numero total de señales.

| <b>Entrada</b> |                | <b>Salida</b>  |                |
|----------------|----------------|----------------|----------------|
| <b>Análoga</b> | <b>Digital</b> | <b>Análoga</b> | <b>Digital</b> |
| 15             | 5              | 5              | 5              |

Teniendo en cuenta las características del sistema se selecciona un PLC que sea muy fiable pero que se adecue al tipo de proceso, este proceso no tiene un numero grande de señales comparado con otros procesos presentes en una central de generación y tampoco requiere de un PLC con micro exactitud, por ello se selecciono un PLC marca siemens, ver en el anexo 17 las especificaciones del PLC.

#### Características del sistema

Teniendo en cuenta el numero de señales análogas de entrada, que son 15, es necesario adicionar dos módulos de entradas análogas debido a que la CPU cuenta con una entrada análoga por esta razón son necesarios los módulos adicionales, el datasheet del modulo adicional en el anexo 18

Es necesario adicionar a la CPU del PLC un modulo de salidas análogas ya que el sistema necesita tener 5 salidas análogas y la CPU del PLC no cuenta con ninguna salida de este tipo, para ver las especificaciones del modulo adicionar ver el anexo 19

La CPU cuenta con el numero de entradas y salidas necesarias para las señales digitales que se requieren.

Para ver el plano de conexión del controlador ver el plano 8 PL08

Para ver el listado completo de señales ver el anexo 20

### 5.3 DISEÑO SISTEMA ELÉCTRICO Y PLANOS

Cargas eléctricas del sistema

- Alimentación Maquina de absorción.
- Alumbrado de los tanques:

Cada tanque contara con un luminaria metal halyde de 250W, en el anexo 21 se encuentran las especificaciones de la luminaria

- Alumbrado cuarto de control
- Alumbrado gabinete de media tensión
- Actuador de la válvula de control

En la tabla 15 de muestran las características del Sistema

Tabla 19 Cargas del sistema

| <b>Equipo</b>                | <b>Tensión V</b> | <b>Potencia W</b> |
|------------------------------|------------------|-------------------|
| <b>Maquina de absorción.</b> | 480 V            | 5 000             |

|  |             |      |
|--|-------------|------|
| <b>Alumbrado de tanques</b>                | 208 V       | 250  |
| <b>Actuador de la válvula de control</b>   | 208 / 120 V | 400  |
| <b>Alumbrado gabinete de media tensión</b> | 120         | 2X32 |
| <b>Alumbrado cuarto de control</b>         | 120         | 2X32 |

Fuente: Autor

*Figura 15 Plano civil sistema de refrigeración*



Fuente: Autor

El diseño eléctrico partió con la disposición de la zona en donde se ubicarían los equipos del sistema de refrigeración, para de esta manera poder determinar de que forma se alimentan lo equipos. Es importante detallar que para el efecto del diseño no es necesario tener la ubicación exacta de los equipos, con las dimensiones de la zona donde se van a ubicar es suficiente, en la grafica15 de detalla esta zona

### 5.3.1 Diseño cables de alimentación.

Lo primero que se diseño es la alimentación de las cargas eléctricas

Maquina de absorción

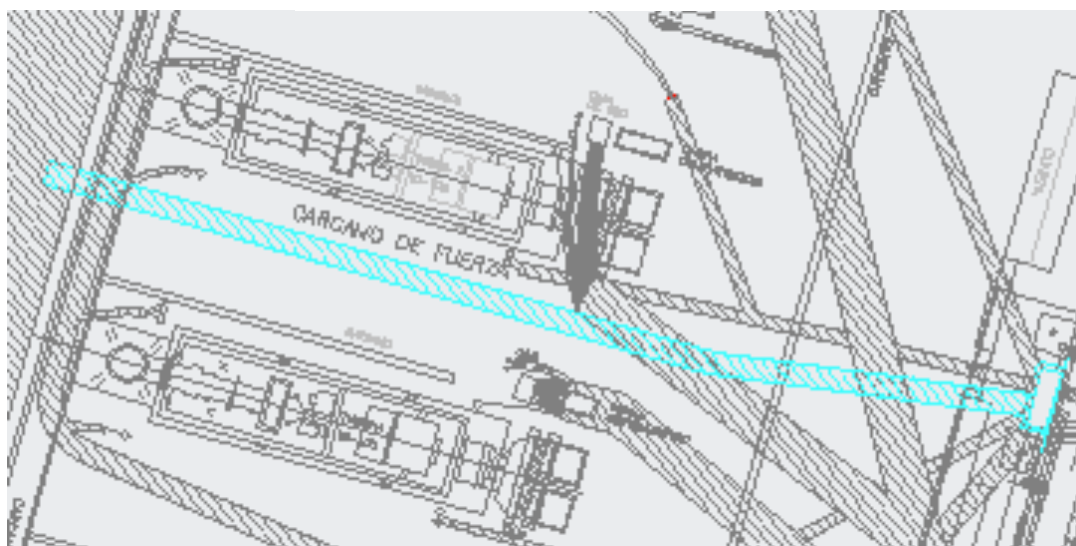
Bombas

Actuador de la s válvulas

Iluminación de los tanques

Para alimentar estas cargas se diseño la construcción de un cárcamo que va de la zona donde se ubican las maquinas hasta la sala de tableros. El recorrido del cárcamo de fuerza se puede observar en la figura 16 , para ver el plano completo ver PL06

*Figura 16. Carcamo fuerza.*

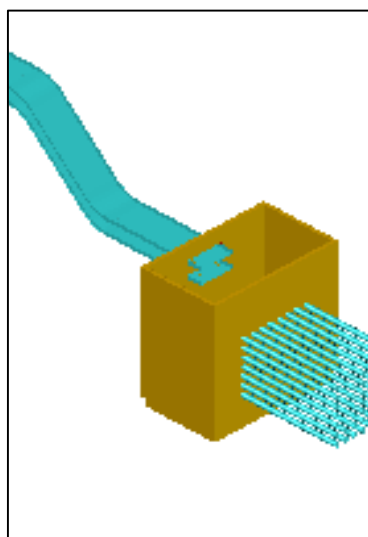


Fuente: Autor

### 5.3.2 Detalle constructivo del cárcamo de fuerza.

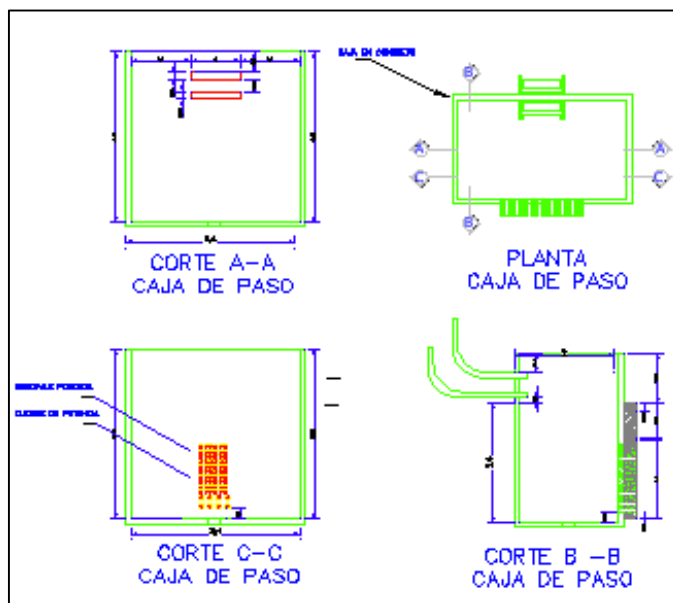
Para transportar los cables por norma RETIE es importante que cada cable salga de su punto de conexión con una bandeja porta-cable, en este caso una vandeja portacable transportara los cables hasta el cárcamo como lo detalla la figura 17 y 18.

*Figura 17 Vista isométrica Cárcamo*



Fuente: Autor

*Figura 18 Detalle constructivo del carcamo*



Fuente: Autor

El cárcamo tiene una profundidad de 3,4 m debido a que ya hay otro cárcamo construido, que lleva los cables del generador provenientes del TG, el área libre es de 1,2m a cada lado de la bandeja, este espacio libre es importante para instalación y construcción del cárcamo

Las características de diseño del cárcamo cumplen con las especificaciones requeridas por la central y concuerdan con las características de los ya construidos en la central

### 5.3.3 Características de la bandeja.

La bandeja cortacable que se usa es de 100X15cm para cables de potencia se utiliza esta medida de bandeja debido a que la norma dice que siempre debe quedar más 40% del espacio de la bandeja libre.

En el dibujo también se observan dos niveles de bandejas esto se debe a que la de arriba llevara las líneas de 460 V y la de abajo las líneas de 208V y 120 V, de la misma manera sucede con el espacio en los tubos por esa razón las iluminaciones y los actuadores tendrán irán por un tubo de 2" y los cables de alimentación de las bombas y de la máquina de absorción por un tubo de 4", para ver el detalle de la construcción del cárcamo ver PL09

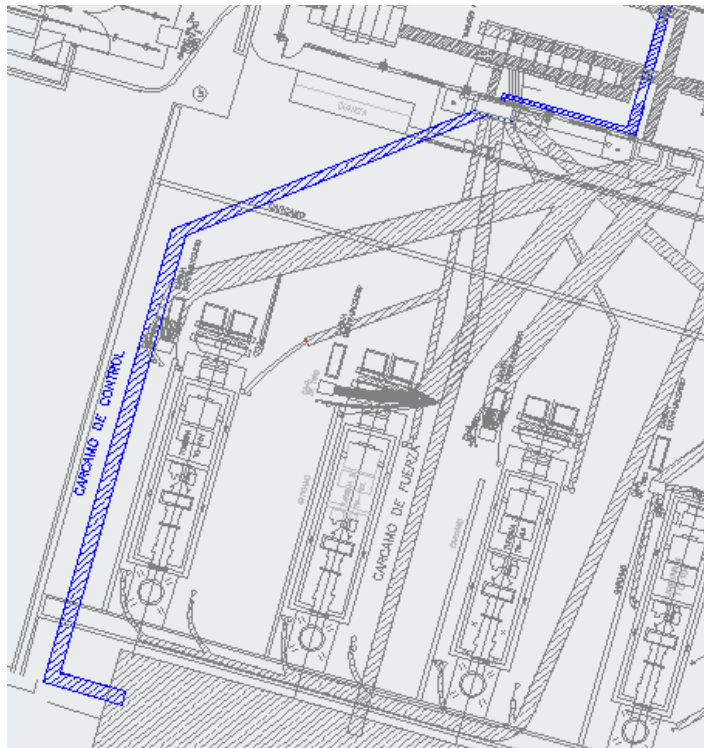
### 5.3.4 Señales de Control

Para el diseño del control es necesario diseñar un cárcamo independiente debido a que los cables de control no pueden ir por las mismas bandejas que los cables de fuerza, porque como no hay compatibilidad electromagnética las señales pueden ser afectadas.

El recorrido de cárcamo se puede observar en la figura 19.



*Figura 19 Ruteo Bandeja de Control*

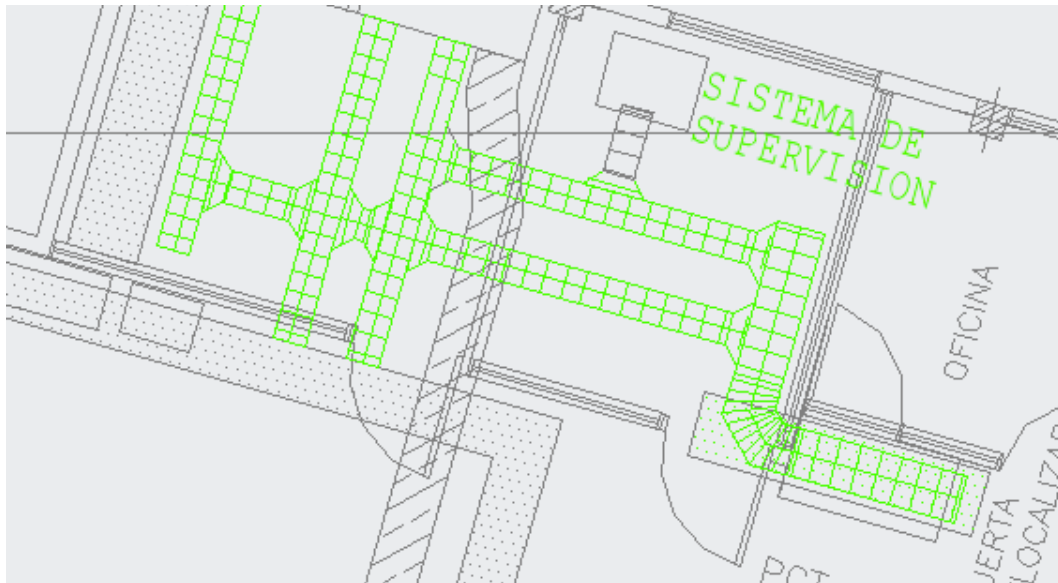


Fuente: Autor.

### 5.3.5 Bandeja de control

Para llevar los cables de control hasta el punto de control, fue necesario diseñar el cárcamo, pero después del cárcamo se debe construir un bandeja portacables que lleve los cables de control del cárcamo a lo equipos de control y monitoreo, para esto se utilizó una bandeja de 30X15 cm que es mas que suficiente para llevar esta señales, en la figura 20 se puede observar el ruteo de la bandeja.

*Figura 20 Bandeja de Control*



Fuente: Autor.

## 5.4 CALCULO DE CABLES POR REGULACIÓN.

### 5.4.1 Dimensionamiento cables de potencia

El cable para baja tensión utilizado en el diseño es THHN - THWN Cobre para 90°, resistente a la humedad, al calor y es retardante a la llama.

Para calcular la corriente nominal del cable o corriente de línea

Para equipos trifásicos

$$I_n = \frac{PX10^3}{V \sqrt{3}} \quad (61)$$

para sistemas monofásicos:

$$I_n = \frac{PX10^3}{V} \quad (62)$$

En el caso de motores en donde se tiene la potencia del Motor en HP, se pasa kVA, de la siguiente manera:

$$S = \frac{P X 746}{FP} \quad (63)$$

Donde:

P: es potencia en HP

FP: es el factor de potencia.

el valor del factor de potencia para los motores esta dentro de un rango de 0.8 a 0.9, por lo tanto para el diseño utilizamos 0.9, que es el caso donde la intensidad de corriente seria mas alta. Este valor es la demanda ruta o demanda propia en KVA.

Una vez conseguida la potencia en KVA se calcula la corriente nominal

Para la selección del conductor, multiplicamos la corriente nominal ( $I_n$ ) obtenida por 1.25 (este es un factor de seguridad que puede variar entre el 10% y el 25% y que el diseñador aplica según su criterio), por lo que la corriente que tiene que soportar el conductor es de:

$$I_{max} = I_n * 1,25 \quad (64)$$

El cable seleccionado debe soportar por lo menos este valor de corriente.

Con este valor de corriente, y una vez determinado el tipo de cable a utilizar, se utilizan las table310.15(B)(21) descrita en el código de seguridad NEC – 2014, para determinar la corriente que soporta el cable seleccionado. (NFPA, 2014, pág. 167) esta corriente esta representada por  $I_s$

Una vez determinado el calibre de cable a utilizar, se obtiene la corriente que soporta y para esto es necesario aplicar los factores de corrección por temperatura y por agrupamiento, los cuales se aplican de la siguiente manera:

Factor de corrección por temperatura =  $K_T$ . Tabla 310.15(B)(2)(a) (NFPA, 2014, pág. 160)

Factor de Corrección por Agrupamiento =  $K_I$ . (NEC, Sección 310-15(B)(2)(b) (NFPA, 2014, pág. 161)

Obtenidos estos dos factores, aplicamos la formula:

$$I_c = I_s * K_T * K_i \quad (65)$$

Donde  $I_c$  es la corriente máxima que puede soportar el conductor.

Se debe cumplir que

$$I_c > I_n$$

Teniendo el conductor seleccionado por corriente, se busca la selección por caída de tensión, para lo cual se sigue el siguiente procedimiento:

Se busca la impedancia del cable y con base en ese valor de calcula la caída de tensión en el cable, esta caída de tensión debe ser menor al 3% del valor de la tensión de alimentación

Tensión Fase – Neutro

$$V_{F-N} = Z * I_{max} * d \quad (66)$$

donde:

$Z$  = impedancia del cable

d = distancia del cable en Km

El valor de la impedancia del cable se encuentra en el anexo 22, y la distancia de halla con base en la ubicación de la Zona prevista por Hocol para implementar el Sistema de refrigeración, ver PL06

Tensión Fase – Fase

$$V_{F-F} = V_{F-F} * \sqrt{3} \quad (67)$$

Porcentaje de regulación. %Rv

$$R_V = \frac{V_{F-F}}{V} * 100 \quad (68)$$

La impedancia depende de la distancia de la acometida desde el CCM o desde el tablero de distribución hasta la carga respectiva.

#### 5.4.2 Calculo y coordinación de protecciones.

La selección de los dispositivos de protección contra sobre corriente debe realizarse, según lo establece RETIE, acorde con las siguientes secciones del código eléctrico colombiano NTC2050, 210-20, 215-3, 220-10(b), 230-90 (a) y 240-3. (Norma Técnica Colombiana NTC2050, 1998)

Estas secciones establecen que el dispositivo de protección contra sobre corriente (interruptor o fusible) debe ser dimensionado y seleccionado teniendo en cuenta que:

No sea menor al 100% de la carga No-Continua más el 125% de la carga continua.

El calculo de los cables por regulación se realiza por medio de una tabla en Excel en el anexo 23 calculo de cables por regulación.

En el plano PL06 se muestra la ubicación del espacio en donde se van a instalar los equipos, mediante esa ubicación se diseño un cárcamo para los cables de fuerza que serian las cargas de iluminación y la maquina de absorción, y se diseño un segundo cárcamo para los cables de control.

### **Cables de control.**

Se diseño una bandeja de control que recibe los cables del cárcamo de control y los lleva al cuarto de supervisión, la distancia máxima del punto de conexión del instrumento al receptor de la señal es menor a 100 m.

Para ver el diagrama de control de Sistema ver plano PL05

### **Diagrama Unifilar.**

Para realizar el unifilar se proyecta de una vez la carga de un Sistema de refrigeración para cada turbina. Es necesario construir tres gabinetes uno para las cargas de las maquinas de absorción, otro para las luminarias y el ultimo para los actuadores, la tensión de alimentación de los gabinetes es de 480/208V por lo cual los tres gabinetes se alimentaran de la misma barra. Para ver el unifilar de las cargas proyectadas ver el plano PL07.

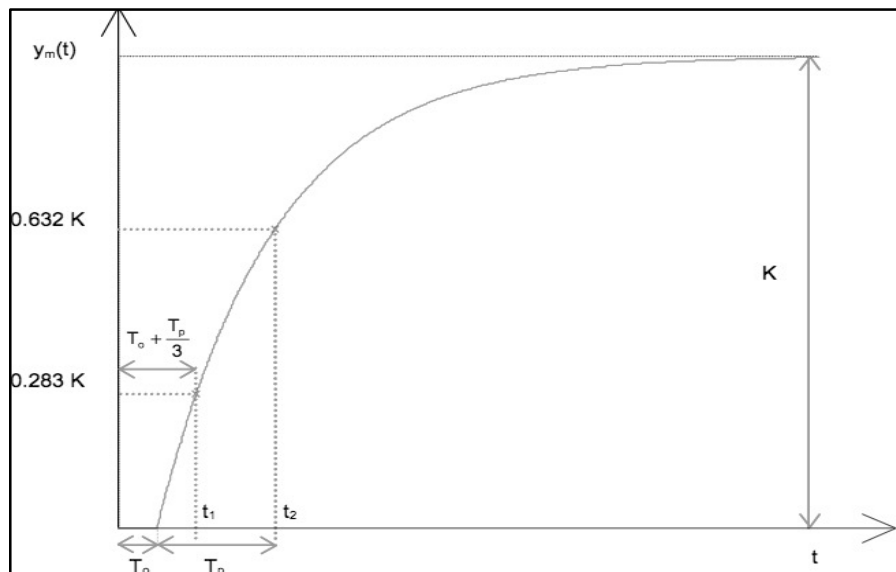
## 6 CAPITULO 6. INSTRUMENTACION Y ESTRATEGIAS DE CONTROL PARA EL SISTEMA DE REFRIGERACION

### 6.1 PRIMER ESTRATEGIA DE CONTROL - MÉTODO ZIEGLER – NICHOLS EN LAZO ABIERTO.

Para realizar el método de ZN es necesario realizar el análisis transitorio de la señal del procesos de refrigeración.

En la grafica 9 se muestran las constantes de tiempo necesarias para realizar la estrategia de control con este método, para esto se procede a obtener estas constantes de la curva de nuestro proceso obtenida en el capitulo anterior.

*Grafica 9 Constantes de tiempo método – Ziegler*



Fuente: Autor





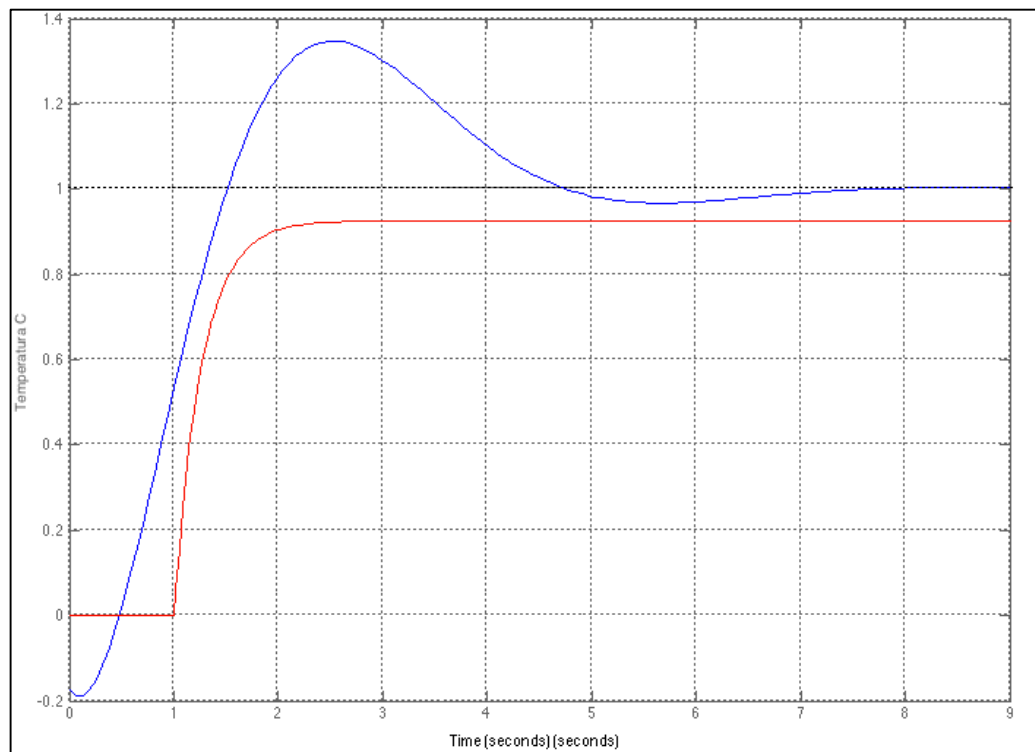
### 6.1.1 Control PID por medio del método de ZN:

$$Kp = 1.2 \frac{Tp}{K * To} = 0.257 \quad (70)$$

$$Ti = 2 * To = 1.69 \text{ s} \quad (71)$$

$$Td = 2 * To = 0.5 * T0 = 0.442 \text{ s} \quad (72)$$

*Grafica 11 comportamiento del sistema con un controlador PID obtenido con el método ZN*



Fuente: Autor

Con este controlador la señal presenta un valor pico de 1.37 en un tiempo de 2,52 s y la señal se estabiliza en un tiempo de 7s

En la tabla 16 se muestra el resumen del comportamiento de la señal con el controlador PID

Tabla 20 Resumen comportamiento del controlador PID con el método ZN.

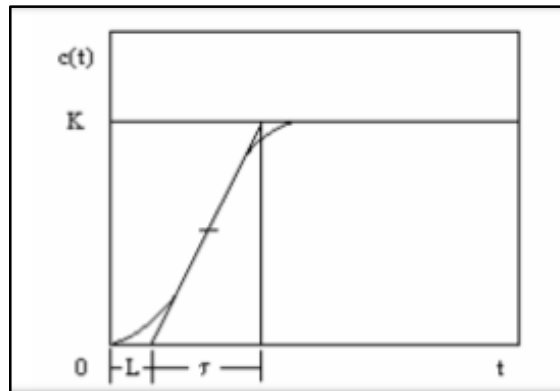
|                           | <i><b><math>M_p</math></b></i> | <i><b><math>T_r</math></b></i> | <i><b><math>T_p</math></b></i> |
|---------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| <i><b>Método Z-NN</b></i> | <i><b>1,37</b></i>             | <i><b>2,52 s</b></i>           | <i><b>7 s</b></i>              |

Fuente: Autor

## 6.2 SEGUNDA ESTRATEGIA DE CONTROL MÉTODO DE COHEN – COON

La curva en forma en S se puede caracterizar con dos parámetros, el tiempo del atraso  $L$  y la constante de tiempo. El tiempo de atraso y la constante de tiempo se determinan trazando una línea tangente a la curva en la forma de S en el punto de inflexión y se determinan las intersecciones de esta línea tangente con el eje del tiempo y con la línea  $c(t) = K$ , como se muestra en la grafica 12.

Grafica 12 Caracterización de la curva – Método Cohen Coon



Fuente: (Spartacus Gomariz - Domingo Biel, Jose Matas - Miguel Reyes, 2000)

En la tabla 17 se muestran los arreglos correspondientes al *Método Cohen – Coon* para ajustar los diferentes tipos de controladores

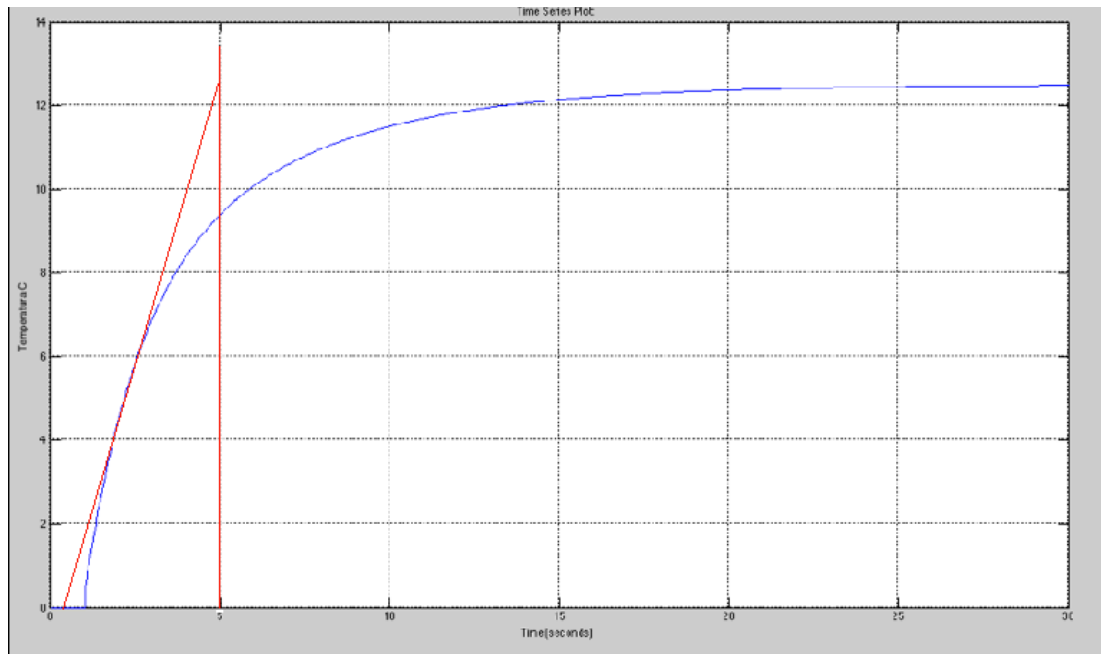
Tabla 21 Arreglos para diseño de controladores – Método Cohen - Coon

| Tipo de Controlador | Kc  | Ti   | Td                               |
|---------------------|---|--|----------------------------------|
| <b>P</b>            | $\frac{1}{K} \frac{T}{L} \left( 1 + \frac{L}{3T} \right)$           | 0  | 0                                |
| <b>PI</b>           | $\frac{1}{K} \frac{T}{L} \left( 0.9 + \frac{L}{12T} \right)$        | $L \frac{30 + \frac{3L}{T}}{9 + 20 \frac{L}{T}}$ | 0                                |
| <b>PID</b>          | $\frac{1}{K} \frac{T}{L} \left( \frac{4}{3} + \frac{L}{4T} \right)$ | $L \frac{32 + \frac{6L}{T}}{13 + 8 \frac{L}{T}}$ | $L \frac{4}{11 + 2 \frac{L}{T}}$ |

Fuente: (Spartacus Gomariz - Domingo Biel, Jose Matas - Miguel Reyes, 2000)

En la grafica 13 se toman las constantes de tiempo para el método de *Cohen - Coon*

*Grafica 13 Parámetros del método Cohen - Coon*



Fuente : Autor

### 6.2.1 Control PID por medio del método de Cohen - Coon

Con base en la tabla 17, se realizan los cálculos para determinar los parámetros del controlador PID.

$$K_c = \frac{1}{12.2} \frac{5}{0.7} \left( \frac{4}{3} + \frac{0.7}{4 * 5} \right) \quad (73)$$

$$K_c = 0.7882$$

$$T_i = 0.7 \left( \frac{32 + 6 \frac{0.7}{5}}{13 + 8 \frac{0.7}{5}} \right) \quad (74)$$

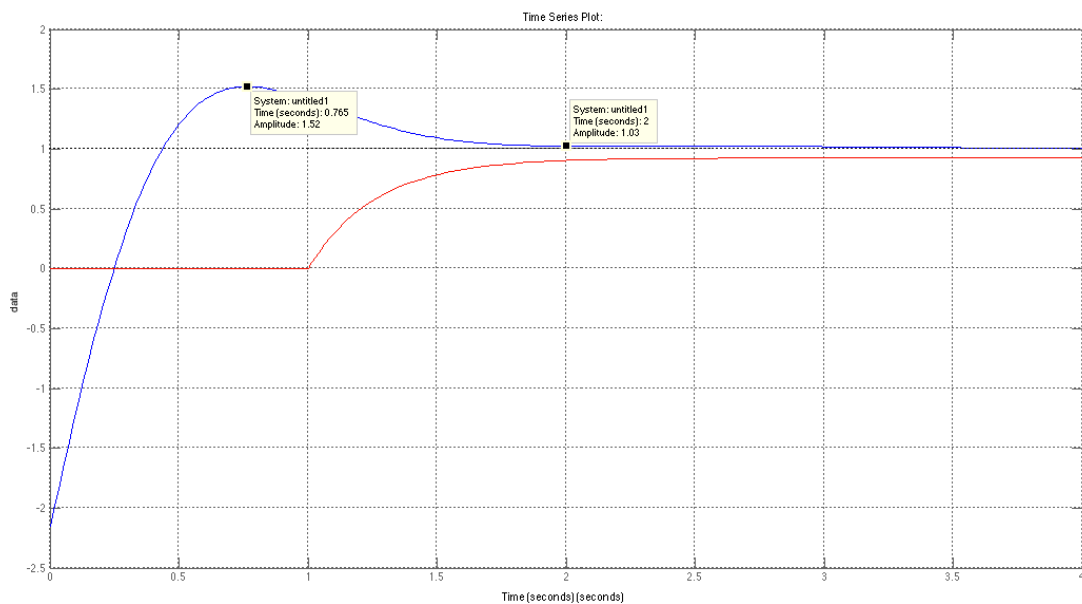
$$T_i = 1.6280$$

$$Td = 0.7 \left( \frac{4}{11 + 2 \frac{0.7}{5}} \right)$$

$$Td = 0.2482$$

Simulación del controlador .

*Grafica 14 Simulación del controlador PID por medio Cohen - Coon*



Fuente: Autor.

Con este controlador la señal presenta un valor pico de 1.52 en un tiempo de 0,76 s y la señal se estabiliza en un tiempo de 2 s

En la tabla 18 se muestra el resumen del comportamiento de la señal con el controlador PID

Tabla 22 Resumen comportamiento del controlador PID con el método Cohen - Coon

|                                   | $M_p$ | $T_r$  | $T_p$ |
|-----------------------------------|-------|--------|-------|
| <b><i>Método Cohen - Coon</i></b> | 1,52  | 0,76 s | 2 s   |

Fuente: Autor

### 6.3 TERCER ESTRATEGIA DE CONTROL - DISEÑO CONTROL PID – LUGAR GEOMÉTRICO DE RAICES.

Para realizar el diseño por medio del método de lugar geométrico de las raíces es necesario establecer los parámetros de diseño  $t_s$  y  $M_p$

- $t_s = 12 \text{ s}$
- $M_p = 10\%$

$$\frac{3}{\sigma} t_s, \quad \sigma = 0,25, \quad \omega d = \frac{-\pi\sigma}{\ln(M_p)} = 0.3411$$

Para cumplir las características anteriores los polos del sistema deben estar en:

$$s = -0.25 \pm 0.3411 j$$

Aplicando la condición del Angulo para encontrar el valor de “a” que garantice que el punto  $s$  e encuentre en el LGR, se calcula con la ecuación 75

$$\begin{aligned} \tan^{-1} \frac{0.3411}{2.582 - 0.25} - \tan^{-1} \frac{0.3411}{0.2796 - 0.25} - \tan^{-1} \frac{0.3411}{-0.25} - \tan^{-1} \frac{0.3411}{-2.582 - 0.25} \\ - 180 - \tan^{-1} \frac{0.3411}{a - 0.25} = \pm 180 \end{aligned} \quad (75)$$

$$\tan^{-1} \frac{0.3411}{a - 0.25} = 406,46$$

$$\frac{0.3411}{a - 0.25} = 1.052$$

$$\frac{0.3411}{1.052} + 0.25 = a$$

$$a = 0.5742$$

Con esta posición del cero, se garantiza que los polos en lazo cerrado se sitúan en:

$$s = -0.25 \pm 0.3411j$$

Calculando el valor de la ganancia  $k_d$  para dicho punto.

$$k_p * (-3.4899) \frac{(s - 2.582)(s + 0.5742)}{s(s + 2.582)(s + 0.2796)} \quad (76)$$

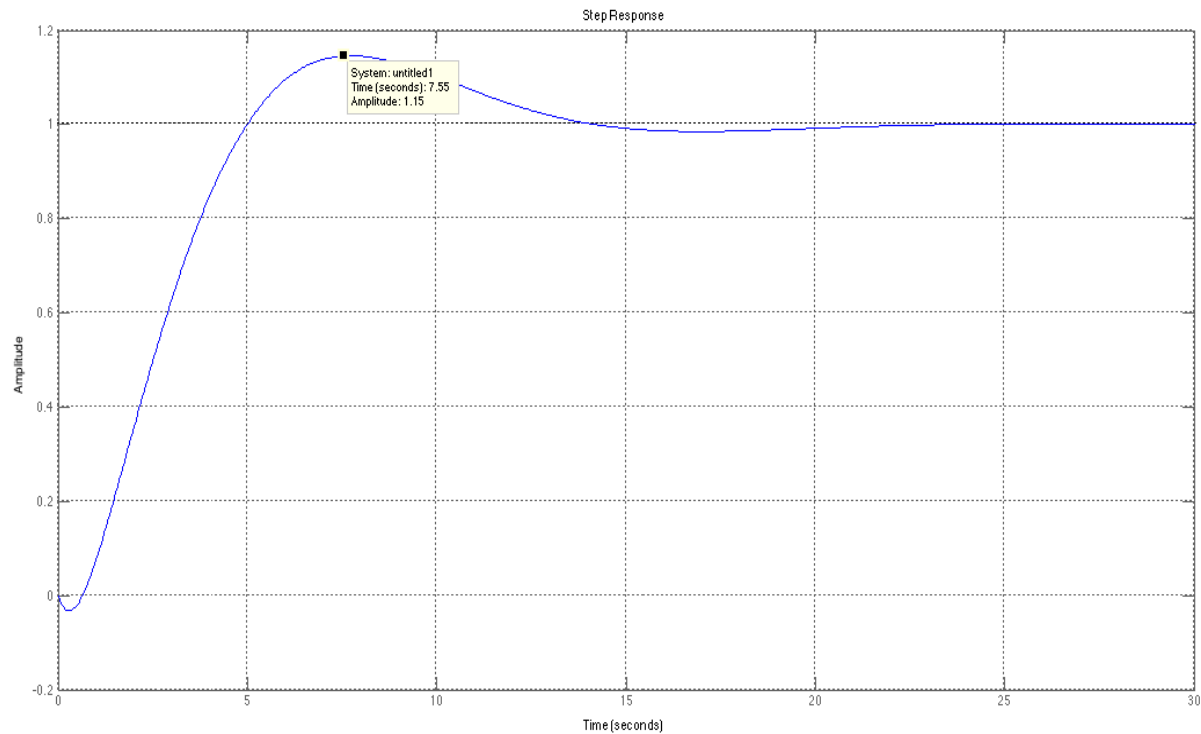
Reemplazando  $s$  en la función de transferencia y evaluamos el módulo del numerador y del denominador:

$$num = 1.3400$$

$$den = 0.3394$$

$$k_d = \frac{3.4899 * 1.3400}{0.3394} = 0.0726 \quad (77)$$

### Grafica 15 Control PID – Lugar Geométrico de Raíces



Fuente: Autor.

Con este controlador la señal presenta un valor pico de 1.115 en un tiempo de 7,55 s y la señal se estabiliza en un tiempo de 25 s

En la tabla 19 se muestra el resumen del comportamiento de la señal con el controlador PID

Tabla 23 Resumen controlador PID con el método de lugar geométrico de raíces

|                                | <i><b>Mp</b></i> | <i><b>Tr</b></i> | <i><b>Tp</b></i> |
|--------------------------------|------------------|------------------|------------------|
| <i><b>Lugar Geométrico</b></i> | 1,115            | 7,55 s           | 25 s             |

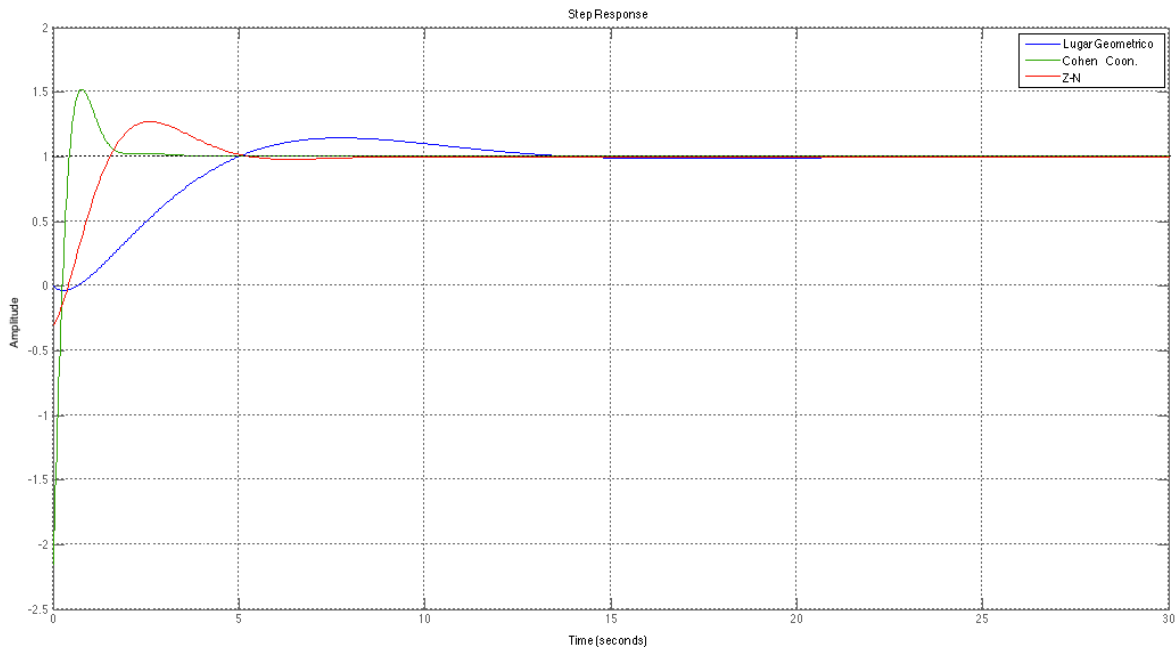
Fuente: Autor



### 6.3.1 COMPARACIÓN DE LOS TRES CONTROLADORES REALIZADOS.

En la grafica 16 se puede observar el comportamiento de las tres estrategias de control

*Grafica 16 Comparación de las tres estrategias de control.*



Fuente: autor

### 6.4 TABLA DE COMPARACIÓN DE LOS TRES CONTROLADORES

En la tabla 18, se comparan las diferentes respuestas que se obtuvieron con los las 3 estrategias de control propuestas, en la Tabla 20 se consignan los siguientes valores,  $M_p$  el valor máximo del sobre pico de la respuesta,  $T_r$  es el tiempo en que ocurre  $M_p$ , y  $T_s$  es el tiempo de estabilización de la señal.

*Tabla 24 Comparación de las 3 estrategias de control*

|                  | <i><b>Método Z-N</b></i> | <i><b>Método Cohen<br/>- Coon</b></i> | <i><b>Lugar Geométrico</b></i> |
|------------------|--------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|
| <i><b>Mp</b></i> | <i>1,37</i>              | <i>1,52</i>                           | <i>1,115</i>                   |
| <i><b>Tr</b></i> | <i>2,52 s</i>            | <i>0,76 s</i>                         | <i>7,55 s</i>                  |
| <i><b>Tp</b></i> | <i>7 s</i>               | <i>2 s</i>                            | <i>25 s</i>                    |

Fuente: Autores

El valor pico Mp que presentan como respuesta los tres controladores son muy diferentes, el controlador que obtuvo mejor respuesta en el valor del sobre pico de la señal es el obtenido por medio del método del lugar geométrico de las raíces ya que obtuvo un sobre pico de 11% aprox.

Al comparar las tres estrategias de control de puede ver que el controlador que obtiene mejor respuesta en el tiempo en el cual ocurre el sobre pico del Sistema es el obtenido por medio del método de Cohen – Coon con un valor de 0,76s

El tiempo de estabilización de la señal es mucho mejor con el método de Cohen-Coon que daría un valor de 2s.

Analizando las tres respuestas de puede ver que el mejor controlador para el Sistema seria el obtenido a través del método de Cohen-Coon, pero para el caso particular del Sistema de refrigeración No es viable, porque físicamente un proceso térmico no podría dar una respuesta tan rápida, por lo cual el controlador que mejor se ajusta es el obtenido por medio del método del Lugar geométrico de raíces.

## CONCLUSIONES.

El resultado de este proyecto de grado fue suministrar una solución eficiente y adecuada para la planta de generación de energía HOCOL, hacia una problemática que presentan en cuanto a la evaluación de una propuesta que permitiera aumentar la potencia generada de los turbogeneradores reduciendo la temperatura de entrada del aire, con la propuesta que se desarrollo se puede aumento la potencia de salida de 5000 Kwe - en condiciones actuales de operación - a 5700 KWe, lo cual generaría un aumento del 12%

Con el desarrollo de este trabajo se llego a la conclusión que para la planta de Generación Monal es mas eficiente la implementación del sistema de refrigeración por absorción, por dos razones principales, la primera es que actualmente la empresa no esta haciendo ningún uso con los gases de escape de las turbinas los cuales se pueden aprovechar como fuente de energía principal para el proceso de refrigeración por absorción, lo cual reduce los costos de operación al mínimo, y la segunda es que los costos de operación y de implementación son bastante bajos en comparación con otro sistema de refrigeración.

Debido a que el sistema de refrigeración que se propone en este trabajo no tiene un gran consumo de energía eléctrica, el mayor consumo lo tiene la máquina de absorción con 3,5 KW, esto es de beneficio a la hora de realizar la instalación del sistema ya que no hay que añadirle muchas cargas al sistema eléctrico, solo basta con un aumento en 5 KW que sería el total de energía utilizada en el proceso de refrigeración contando la máquina de absorción, los actuadores de las válvulas y las alarmas.

El arreglo del controlador por medio del método de Choen-Coon resulta ser el más eficiente en cuanto a que el tiempo de establecimiento de la señal sucede en menos de 2 s, pero físicamente es

imposible que un sistema térmico como es el de este proceso enfríe 21,6 Kg/s de aire en este tiempo.

Debido a la respuesta física de un proceso térmico el controlador que más se ajusta para controlar este proceso es el diseñado por el método del lugar geométrico de raíces ya que el tiempo de establecimiento de la temperatura de salida del aire del intercambiador es de 12 s aproximadamente.

El sistema de control que se propone implementar es controlar el flujo másico de agua al interior del intercambiador y para así causar un cambio en la potencia disipada al interior del intercambiador y así variar la temperatura del aire de salida.

Para manipular la temperatura del salida del aire, se contemplo en un principio, el variar la temperatura del agua a la entrada del intercambiador, hasta que se escogió la máquina de absorción y se observo que la temperatura de salida del agua la controla la máquina y no es posible manipular esta variable, por esta razón se escogió el control por flujo de agua.

## BIBLIOGRAFÍA

- Baqueiro, Félix Higinio Rivera. (2007). Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico departamento de ingeniería mecatrónica. Cuernavaca. Mexico.
- Enfriamiento aire de admision-turbinas. (s.f.). Icogen. Recuperado el 2011, de [www.icogen-sa.com](http://www.icogen-sa.com): <http://icogen-sa.com/refrigeración-térmica-separador/enfriamiento-aire-admisión-turbinas.html>
- Estudio del estado del arte de las máquinas de absorción. (s.f.). Obtenido de [bibing.us.es](http://bibing.us.es): <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4701/fichero/Memoria%252F2.+Estado+del+arte+de+las+maquinas+de+absorcion.pdf>
- Funcionamiento, P. d. (s.f.). turbinasdegas. Obtenido de [www.turbinasdegas.com/](http://www.turbinasdegas.com/): <http://www.turbinasdegas.com/index.php/principios-de-funcionamiento/89-principios-de-funcionamiento>
- Gas natural fenosa. (2011). Gas natural fenosa. Obtenido de <http://www.empresaeiciente.com/es/catalogo-de-tecnologias/refrigeracion-mediante-el-ciclo-de-absorcion#ancla>
- Gas turbine world. (1998). Superheated steam injection rivals combined cycle power performance. Gas turbine world , 12-17.
- Manual del ingeniería de planta, Vol. 2, capítulo 4. McGraw-Hill.
- Miguel Capella Castro, David Vasquez. (2000). Alternativas para incrementar la eficiencia y capacidad de las turbinas de gas. barranquilla/colombia.
- NFPA. (2014). National Electric Code NEC. EEUU.
- Norma Técnica Colombiana NTC2050. (1998). Bogota, Colombia.
- Nova-Energia, G. Máquinas de absorción. Barcelona, España.

Opex Energy. (s.f.). Obtenido de [www.opex-energy.com: http://opex-energy.com/ciclos/optimizacion\\_del\\_rendimiento\\_CTCC.html#3.\\_ESTUDIO\\_CONSTRUCTIVO\\_DE\\_LOS\\_ELEMENTOS](http://www.opex-energy.com/ciclos/optimizacion_del_rendimiento_CTCC.html#3._ESTUDIO_CONSTRUCTIVO_DE_LOS_ELEMENTOS)

Opex-energy. (2011). opex-energy. Obtenido de [http://opex-energy.com/ciclos/principios\\_de\\_Gas\\_CTCC.html](http://opex-energy.com/ciclos/principios_de_Gas_CTCC.html)

Optimización de potencia mediante chillers mecánicos . (2010). Obtenido de [https://www.icaei.es/publicaciones/anales\\_get.php?id=1676](https://www.icaei.es/publicaciones/anales_get.php?id=1676) ° En caché ° Similares

Polupan, Y. p. Manual para el diseño de intercambiadores de calor y banco de tubos aletados . Reverte.

Principios Turbinas de gas. (2011). Obtenido de [http://opex-energy.com/ciclos/principios\\_de\\_Gas\\_CTCC.html](http://opex-energy.com/ciclos/principios_de_Gas_CTCC.html)

Renovetec. (s.f.). Obtenido de [www.cicloscombinados.com: http://www.cicloscombinados.com/turbinasgas.html](http://www.cicloscombinados.com/turbinasgas.html)

Santos, B. d. (2010). Instalaciones Frigoríficas .

Smith, C.A. & Corripio. (1991). Control automatico de procesos. Mexico D.F.: Lumisa S.A.

Solar Turbines. (2014). Solar Turbines. Obtenido de Solar Turbines: <http://s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/C10550195>

Solar, Modelado y simulación de una máquina de absorción de doble efecto en una planta de refrigeración. (2011)

Spartacus Gomariz - Domingo Biel, Jose Matas - Miguel Reyes. (2000). Teoria de control Diseño Electronico. Barcelona .

Superheated steam injection rivals combined cycle power performance. (1998). Gas turbine world , 12-17.

Turbina, tecnologías de enfriamiento del aire de admision. (s.f.). Bibing. Recuperado el 2011, de <http://bibing.us.es>:

<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4055/fichero/Unico+volumen%252F4.+Capitulo+3.pdf>

Turbinas, E. a. (s.f.). Icogen. Recuperado el 2011, de [www.icogen-sa.com](http://www.icogen-sa.com): <http://icogen-sa.com/refrigeración-térmica-separador/enfriamiento-aire-admisión-turbinas.html>

## ANEXO 1





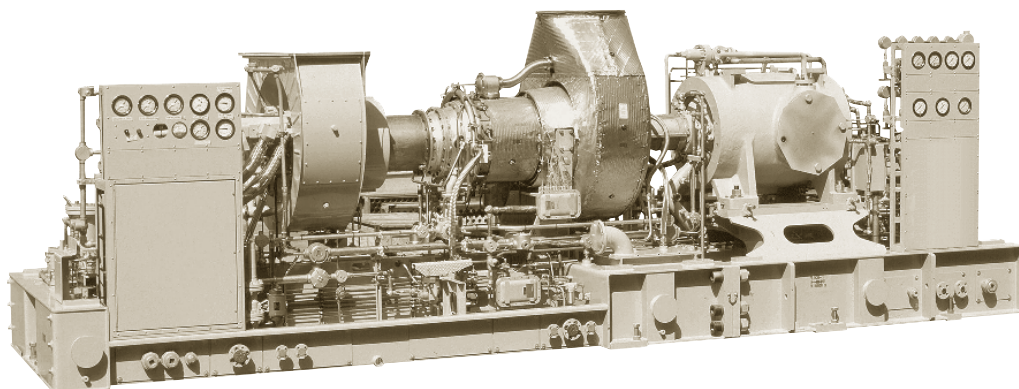
INFORME DE MEJORAS IMPLEMENTADAS EN EL CENTRO DE GENERACION MONAL-CAMPO SAN FRANCISCO

TABLA DE DATOS REGISTRO DE POTENCIA GENERADA CGM VS TEMPERATURA DE ENTRADA DE AIRE

AL COMPRESOR

| HORA  | POTENCIA Kw | TEMPERATURA AMBIENTE C | MW      |         |         |         |         | TEMPERATURA [T1] |         |         |         |         |
|-------|-------------|------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|------------------|---------|---------|---------|---------|
|       |             |                        | TURB. 1 | TURB. 2 | TURB. 3 | TURB. 4 | TURB. 5 | TURB. 1          | TURB. 2 | TURB. 3 | TURB. 4 | TURB. 5 |
| 1:00  | 18,36       | 24                     | 3,7     | 3,77    | 3,56    | 3,71    | 3,62    | 23               | 24      | 23,4    | 27,3    | 25,1    |
| 2:00  | 18,35       | 23                     | 3,69    | 3,77    | 3,55    | 3,7     | 3,64    | 22,3             | 22,4    | 21,8    | 23,6    | 23,3    |
| 3:00  | 18,17       | 22                     | 3,64    | 3,64    | 3,5     | 3,72    | 3,67    | 21,3             | 21      | 21,3    | 23,2    | 22,9    |
| 4:00  | 18,26       | 22                     | 3,68    | 3,72    | 3,54    | 3,66    | 3,66    | 20,5             | 20,4    | 20,5    | 22,3    | 22      |
| 5:00  | 18,3        | 22                     | 3,73    | 3,69    | 3,51    | 3,69    | 3,68    | 21,7             | 21,8    | 21,3    | 23      | 23,1    |
| 6:00  | 18          | 23                     | 3,62    | 3,56    | 3,49    | 3,71    | 3,62    | 21,4             | 21,3    | 21      | 22      | 22,5    |
| 7:00  | 17,66       | 24                     | 3,63    | 3,41    | 3,33    | 3,62    | 3,67    | 21,6             | 21,1    | 21,5    | 24      | 23,3    |
| 8:00  | 18,18       | 24                     | 3,79    | 3,75    | 3,43    | 3,58    | 3,63    | 23,5             | 23,5    | 23,4    | 25      | 25,1    |
| 9:00  | 17,83       | 24                     | 3,69    | 3,58    | 3,45    | 3,46    | 3,65    | 23,1             | 22,9    | 22,6    | 25      | 25,1    |
| 10:00 | 17,76       | 24                     | 3,69    | 3,45    | 3,33    | 3,62    | 3,67    | 22,6             | 21,5    | 21,8    | 23,9    | 23,4    |
| 11:00 | 17,83       | 24                     | 3,68    | 3,41    | 3,37    | 3,7     | 3,67    | 21,6             | 21,1    | 21,5    | 24      | 23,3    |
| 12:00 | 18,36       | 24                     | 3,7     | 3,77    | 3,56    | 3,71    | 3,62    | 23               | 24      | 23,4    | 27,3    | 25,1    |
| 13:00 | 18,31       | 22                     | 3,74    | 3,69    | 3,51    | 3,69    | 3,68    | 21,7             | 21,8    | 21,3    | 23      | 23,1    |
| 14:00 | 18,3        | 22                     | 3,73    | 3,69    | 3,51    | 3,69    | 3,68    | 21,7             | 21,8    | 21,3    | 23      | 23,1    |

## ANEXO 2



#### Especificaciones generales

##### Turbina de gas Taurus™ 60

- Industrial, de dos ejes
- Compresor axial
  - De 12 etapas
  - Álabes directores de entrada variable
  - Rango de presión: 12.2:1
  - Flujo del aire de entrada: 21.3 kg/seg (47.0 lb/seg)
  - Carcasa dividida verticalmente
- Cámara de combustión
  - Tipo anular
  - Convencional o de premezcla pobre, seca y emisiones bajas (SoLoNOx™)
  - 12 inyectores de combustible
  - Sistema quemador de encendido
- Turbina productora de gas
  - 2 etapas, de reacción
  - Velocidad máxima: 15,000 rpm
- Turbina de potencia
  - 2 etapas, de reacción
  - Velocidad máxima: 14,300 rpm
- Cojinetes
  - Muñón: zapata basculante
  - Empuje, activo: zapata basculante
  - Empuje, inactivo: pista cónica fija
- Revestimientos
  - Compresor: aluminio inorgánico
  - Álabes de la turbina y tobera: aluminuro de difusión de metal precioso
- Transductor de velocidad de vibración
  - Sensores de proximidad

#### Características principales de la turbomaquinaria

- Patín del equipo de impulsión con bandejas colectoras
- Patín del equipo impulsado
- Compresor
  - Sistemas auxiliares del compresor
- Tuberías de acero inoxidable 316L de 4 pulgadas de diámetro
- Conexiones de tubería de tipo compresión
- Opciones del sistema eléctrico
  - NEC Clase I, Grupo D, Div. 1
  - CENELEC Zona 1
- Sistema de control basado en microprocesadores Turbotronic™
  - Consola de control autónoma
  - Monitor de vídeo en color
  - Monitoreo de vibraciones
- Opciones de control
  - Sistema de control de cargador/batería de 24V de CD
  - Monitoreo de la temperatura de la turbomaquinaria y turbina de gas
  - Interfaz de supervisión de enlace en serie
  - Mapa de rendimiento de la turbina
  - Mapa de rendimiento del compresor
  - Visualizaciones del historial
  - Impresora/registradora
  - Monitoreo predictivo de las emisiones
  - Controles de proceso
  - Control de bombeo del compresor
  - Programación en el campo
- Sistemas de arranque
  - Neumático
  - CA de impulsión directa
- Sistema de combustible de gas natural
- Sistema de aceite lubricante integrado
  - Accesorios impulsados por la turbina
- Opciones del sistema de aceite
  - Enfriador de aceite
  - Calentador de aceite
  - Separador de neblina de aceite en el venteo del tanque
  - Arrestallamas
- Sistemas de limpieza de compresor axial
  - Turbina en modo de giro
  - Turbina en modo de giro y en línea
  - Tanque de limpieza estacionario
- Caja de engranajes (en caso aplicable)
  - Incrementador de velocidad
  - Decrementador de velocidad
- Opciones del sistema de entrada y escape de aire
- Cabina y opciones asociadas
- Pruebas de la turbina y la turbomaquinaria en la fábrica
- Documentación
  - Dibujos
  - Libro de datos de control de calidad
  - Inspección y plan de pruebas
  - Informes de las pruebas
  - Manual de instrucciones de operación y mantenimiento

# Solar Turbines

A Caterpillar Company

## TAURUS 60

### Unidad de compresor de turbina de gas

Para aplicaciones en la industria petrolera y del gas

#### Rendimiento

|                    |                                     |
|--------------------|-------------------------------------|
| Potencia de salida | 5740 kW<br>(7700 hp)                |
| Tasa de calor      | 11 265 kJ/kW-hr<br>(7965 Btu/hp-hr) |
| Flujo del escape   | 77 880 kg/hr<br>(171,690 lb/hr)     |
| Temp. de escape    | 510°C<br>(950°F)                    |

Capacidad nominal – ISO  
A 15°C (59°F) al nivel del mar

Sin pérdidas en la entrada o el escape

Humedad relativa del 60%

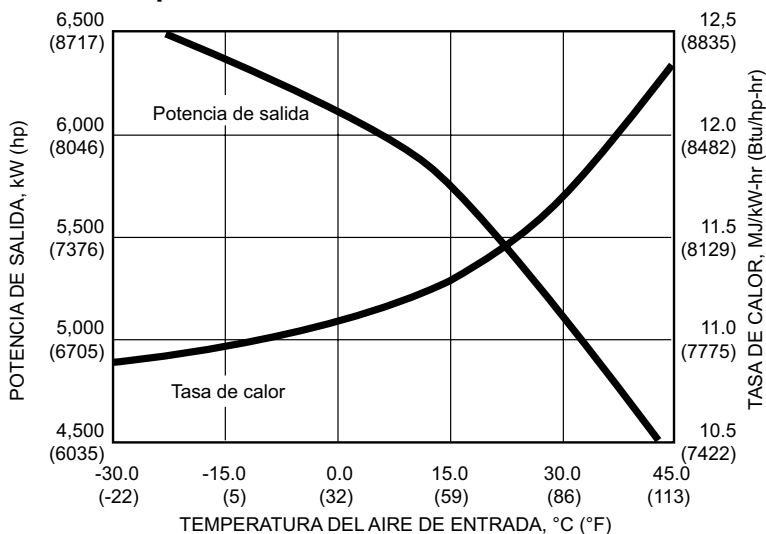
Combustible de gas natural con  
valor calorífico inferior = a 35 MJ/nm<sup>3</sup>  
(940 a Btu/scf)

Velocidad óptima de la turbina de potencia

Accesorios impulsados por CA

Eficiencia de la turbina: 32%

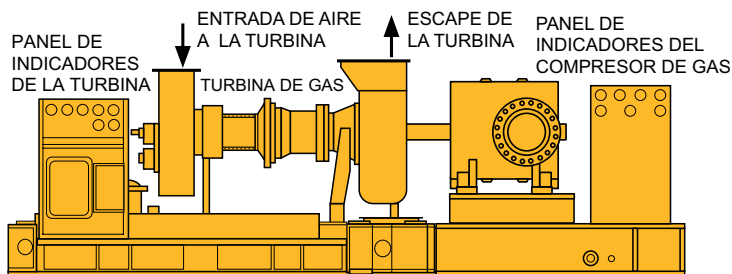
#### Potencia disponible



#### Dimensiones de la turbomaquinaria\*

|              |                       |
|--------------|-----------------------|
| Longitud:    | 6.0 m (19' 9")        |
| Anchura:     | 2.5 m (8' 1")         |
| Altura:      | 2.7 m (8' 11")        |
| Peso típico: | 15 420 kg (34,000 lb) |

\*Sólo equipo de impulsión de la turbomaquinaria



DS60CS-003M-ES

Solar Turbines Incorporated  
P.O. Box 85376  
San Diego, CA 92186-5376

Caterpillar es una marca registrada de Caterpillar Inc.  
Solar, Mars, SoLoNox, y Turbotronic son marcas registradas de Solar Turbines Incorporated.  
Las especificaciones están sujetas a modificaciones sin previo aviso. Impreso en EE. UU.  
© 2009 Solar Turbines Incorporated. Todos los derechos reservados.  
DS60CS-ES/1109/EO

#### PARA MÁS INFORMACIÓN

Teléfono: (+1) 619-544-5352  
Internet: [www.solar-turbines.com](http://www.solar-turbines.com)



## ANEXO 3

# Máquina de absorción de doble efecto accionada por gases de escape

## Datos de funcionamiento

| Modelo CHP            |                       | Unidad  | CHP005          | CHP006  | CHP007  | CHP008  | CHP010    | CHP012  | CHP015  | CHP018  | CHP021    | CHP024  | CHP028  | CHP032  | CHP036    | CHP040   |  |
|-----------------------|-----------------------|---------|-----------------|---------|---------|---------|-----------|---------|---------|---------|-----------|---------|---------|---------|-----------|----------|--|
| Potencia frigorífica  |                       | usRT    | 50              | 60      | 70      | 80      | 100       | 120     | 150     | 180     | 210       | 240     | 280     | 320     | 360       | 400      |  |
|                       |                       | kW      | 176             | 211     | 246     | 281     | 351       | 422     | 527     | 633     | 738       | 844     | 984     | 1125    | 1265      | 1406     |  |
| Agua enfriada         | Temperatura ent/ sal. | °C      | 12/7            |         |         |         |           |         |         |         |           |         |         |         |           |          |  |
|                       | Caudal                | m3/h    | 30,2            | 36,3    | 42,3    | 48,4    | 60,5      | 72,6    | 90,7    | 109     | 127       | 145     | 169     | 194     | 218       | 242      |  |
|                       | Caida de presión      | mAq     | 4,0             | 3,7     | 6,2     | 5,6     | 4,8       | 5,1     | 6,6     | 7,0     | 6,4       | 6,3     | 4,6     | 4,5     | 5,0       | 5,1      |  |
|                       | Conexión              | mm      | 80              |         |         |         | 100       |         |         |         | 125       |         |         | 150     |           |          |  |
| Agua de refrigeración | Temperatura ent/ sal. | °C      | 32/ 37,5        |         |         |         |           |         |         |         |           |         |         |         |           |          |  |
|                       | Caudal                | m³/h    | 50              | 60      | 70      | 80      | 100       | 120     | 150     | 180     | 210       | 240     | 280     | 320     | 360       | 400      |  |
|                       | Caida de presión      | mAq     | 7,0             | 3,1     | 10,2    | 9,6     | 11,1      | 11,3    | 11,5    | 11,8    | 11,8      | 12,1    | 11,2    | 10,7    | 11,1      | 10,8     |  |
|                       | Conexión              | mm      | 100             |         |         |         | 125       |         |         |         | 150       |         |         | 200     |           |          |  |
| Potencia térmica      | Mcal/h                | 142     | 170             | 198     | 227     | 283     | 340       | 425     | 510     | 595     | 680       | 793     | 906     | 1019    | 1133      |          |  |
|                       | kW                    | 165     | 197             | 230     | 263     | 329     | 395       | 494     | 592     | 691     | 790       | 922     | 1053    | 1185    | 1317      |          |  |
| Agua caliente         | Temperatura ent/ sal. | °C      | 55,3/ 60        |         |         |         |           |         |         |         |           |         |         |         |           |          |  |
|                       | Caudal                | m³/h    | 30              | 36      | 42      | 48      | 60,5      | 72,6    | 90,7    | 109     | 127       | 145     | 169     | 194     | 218       | 242      |  |
|                       | Caida de presión      | mAq     | 4,0             | 3,7     | 6,2     | 5,6     | 4,8       | 5,1     | 6,6     | 7,0     | 6,4       | 6,3     | 4,6     | 4,5     | 5,0       | 5,1      |  |
|                       | Conexión              | mm      | 80              |         |         |         | 100       |         |         |         | 125       |         |         | 150     |           |          |  |
| Gases de escape       | Caudal                | kg/seg. | 0,439           | 0,527   | 0,615   | 0,703   | 0,88      | 1,05    | 1,32    | 1,58    | 1,84      | 2,11    | 2,46    | 2,81    | 3,16      | 3,51     |  |
|                       | Temperatura refrig.   | °C      | 450/ 165        |         |         |         |           |         |         |         |           |         |         |         |           |          |  |
|                       | Temperatura calef.    | °C      | 450/ 125        |         |         |         |           |         |         |         |           |         |         |         |           |          |  |
|                       | Caida de presión      | mmAq    | 58              | 58      | 74      | 71      | 77        | 82      | 79      | 92      | 97        | 113     | 129     | 131     | 123       | 131      |  |
|                       | Connexión entrada     | mm-mm   | 782-291         | 782-330 | 782-369 | 782-408 | 922-408   | 922-486 | 922-603 | 922-642 | 922-681   | 922-681 | 922-798 | 922-876 | 1376-720  | 1376-759 |  |
|                       | Connexión salida      | mm      | 300             |         |         |         | 400       |         |         |         | 500       |         |         | 600     |           |          |  |
|                       | Válvula desvío        | mm      | 300             |         |         |         | 400       |         |         |         | 500       |         |         | 600     |           |          |  |
|                       | Suministro            | kW      | 30, 400V, 50 Hz |         |         |         |           |         |         |         |           |         |         |         |           |          |  |
| Electricidad          | Bomba solución        | kW (A)  | 1,5 (5,5)       |         |         |         | 2,0 (6,4) |         |         |         | 2,4 (6,9) |         |         |         | 3,2 (9,0) |          |  |
|                       | Bomba refrigerante    | kW (A)  | 0,2 (1,0)       |         |         |         | 0,3 (1,2) |         |         |         | 0,4 (1,4) |         |         |         |           |          |  |
|                       | Bomba de vacío        | kW (A)  | 0,4 (1,4)       |         |         |         |           |         |         |         |           |         |         |         |           |          |  |
|                       | Sealing blower        | kW (A)  | 0,4 (2,5)       |         |         |         |           |         |         |         |           |         |         |         |           |          |  |
|                       | Panel de control      | kW (A)  | 0,2 (0,5)       |         |         |         |           |         |         |         |           |         |         |         |           |          |  |
|                       | Amp. (400 Vac)        | A       | 10,8            |         |         |         | 11,9      |         |         |         | 12,6      |         |         |         | 14,7      |          |  |
| Medidas               | Largo (L)             | mm      | 2100            |         | 2600    |         | 2638      |         | 3680    |         | 3717      |         | 4742    |         | 4872      |          |  |
|                       | Ancho (W)             | mm      | 1683            | 1722    | 1761    | 1800    | 1857      | 1935    | 2052    | 2091    | 2194      | 2194    | 2310    | 2349    | 2349      | 2349     |  |
|                       | Alto(H)               | mm      | 1800            |         |         |         | 2090      |         |         |         | 2147      |         |         |         | 2399      |          |  |
| Peso                  | En vacío              | ton     | 3,0             | 3,2     | 3,7     | 3,9     | 5,0       | 5,3     | 6,4     | 6,8     | 7,9       | 8,5     | 9,8     | 10,3    | 12,8      | 13,2     |  |
|                       | En carga              | ton     | 3,2             | 3,5     | 4,0     | 4,3     | 5,4       | 5,8     | 7,0     | 7,4     | 8,6       | 9,3     | 10,7    | 11,3    | 14,0      | 14,6     |  |


### Notas



1. La presión de trabajo de cada lado de agua se basa en 1,0MPa (150psig).
2. La temperatura mínima de salida del agua enfriada es de 5°C y 18°C para el agua de enfriamiento.
3. En condiciones estándar, el rango de capacidad modulable de refrigeración es de 25- 100%. Como opción, puede ser de 0-100%.
4. El caudal de agua puede ser ajustado dentro del 50-120%.
5. Factor de ensuciamiento 0,00001m<sup>2</sup>.h.°C/kcal para absorbedor y condensador, 0,0001 m<sup>2</sup>.h.°C/kCal para evaporador y generador.
6. Posibilidad de temperatura de 79°C de agua caliente como opcional.
7. 1 usRT= 3,52 kW

## ANEXO 4



## Especificaciones técnicas.

| PLANTAS ENFRIADORAS DE AGUA THERMAX A DOBLE EFECTO ACCIONADAS POR GASES DE ESCAPE |                               |        |  |              |              |               |               |               |               |               |               |               |               |  |  |
|---|-------------------------------|--------|--|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---|--|
| DESCRIPCIÓN   |                               | UNIDAD | MODELOS                                |              |              |               |               |               |               |               |               |               |               |   |  |
|   |                               |        | ED 10A<br>CU                           | ED 10B<br>CU | ED 10C<br>CU | ED 20A<br>TCU | ED 20B<br>TCU | ED 20C<br>TCU | ED 20D<br>TCU | ED 30A<br>TCU | ED 30B<br>TCU | ED 30C<br>TCU | ED 40A<br>TCU | ED 40B<br>TCU   |  |
| CAPACIDAD FRIGORÍFICA NOMINAL   |                               | kW     | 172                                    | 263          | 365          | 463           | 554           | 701           | 835           | 1.038         | 1.178         | 1.385         | 1.543         | 1.757   |  |
|   |                               | COP    | 1,26                                   | 1,26         | 1,26         | 1,39          | 1,39          | 1,39          | 1,39          | 1,39          | 1,39          | 1,39          | 1,39          | 1,39  |  |
| CIRCUITO AGUA REFRIGERADA   | Caudal de agua fría           | m³/h   | 29,6                                   | 45,2         | 62,7         | 79,6          | 95,3          | 120,6         | 143,6         | 178,6         | 202,7         | 238,3         | 265,4         | 302,2   |  |
|   | Temperatura entrada agua fría | °C     | 12,0                                   |              |              |               |               |               |               |               |               |               |               |   |  |
|   | Temperatura salida agua fría  | °C     | 7,0                                    |              |              |               |               |               |               |               |               |               |               |   |  |
|   | Pérdida de carga              | kPa    | 28,4                                   | 46,1         | 49,0         | 16,7          | 20,6          | 49,0          | 58,8          | 53,0          | 58,8          | 92,2          | 80,4          | 83,4  |  |
|   | Diámetro conexión             | DN     | 80                                     |              |              |               | 125           |               |               |               | 150           |               | 200           |   |  |
| CIRCUITO AGUA DE ENFRIAMIENTO (TORRE)   | Calor a disipar               | kW     | 313                                    | 480          | 665          | 798           | 955           | 1.209         | 1.421         | 1.824         | 2.032         | 2.388         | 2.660         | 3.029   |  |
|   | Caudal de agua enfriamiento   | m³/h   | 49,0                                   | 75,0         | 104,0        | 132,0         | 158,0         | 200,0         | 235,0         | 296,0         | 336,0         | 395,0         | 440,0         | 501,0   |  |
|   | Temperatura entrada agua      | °C     | 29,4                                   |              |              |               |               |               |               |               |               |               |               |   |  |
|   | Temperatura salida agua       | °C     | 34,9                                   | 34,9         | 34,9         | 34,6          | 34,6          | 34,6          | 34,6          | 34,7          | 34,6          | 34,6          | 34,6          | 34,6  |  |
|   | Pérdida de carga              | kPa    | 37,3                                   | 59,6         | 67,7         | 24,5          | 26,5          | 67,7          | 68,6          | 63,7          | 65,7          | 45,1          | 37,3          | 39,2  |  |
| CIRCUITO GASES DE ESCAPE  | Diámetro conexión             | DN     | 100                                    |              |              |               | 150           |               |               |               | 200           |               | 250           |   |  |
|   | Entrada de calor              | kW     | 137                                    | 209          | 290          | 334           | 400           | 506           | 602           | 749           | 850           | 999           | 1.113         | 1.268   |  |
|   | Temperatura entrada de gases  | °C     | 275 - 600                              |              |              |               |               |               |               |               |               |               |               |   |  |
|   | Temperatura salida de gases   | °C     | 170 - 200                              |              |              |               |               |               |               |               |               |               |               |   |  |
|   | Largo                         | mm     | 2.600                                  | 2.850        |              | 3.100         |               | 4.100         |               | 4.400         |               | 5.000         |               | 5.100   |  |
| DIMENSIONES Y PESOS   | Ancho                         | mm     | 1.900                                  | 2.050        |              | 2.400         |               | 2.600         |               | 2.800         |               | 3.000         |               | 3.100   |  |
|   | Alto                          | mm     | 2.000                                  | 2.200        |              | 2.700         |               | 2.800         |               | 3.000         |               | 3.000         |               | 3.400   |  |
|   | Peso en servicio              | tn     | 5,1                                    | 5,3          | 5,4          | 7,8           | 8,1           | 9,8           | 10,2          | 12,6          | 13,0          | 14,8          | 17,7          | 18,3  |  |
| DATOS ELÉCTRICOS  | Alimentación eléctrica        |        | 415 V (±10%), 50 Hz (±5%), 3 fases + N |              |              |               |               |               |               |               |               |               |               |   |  |
|   | Consumo eléctrico             | kVA    | 5,7                                    | 5,7          | 5,7          | 7,6           | 7,6           | 7,6           | 7,6           | 9,1           | 9,1           | 9,1           | 11,2          | 11,2  |  |

| PLANTAS ENFRIADORAS DE AGUA THERMAX A DOBLE EFECTO ACCIONADAS POR GASES DE ESCAPE |                               |        |  |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |   |  |
|---|-------------------------------|--------|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---|--|
| DESCRIPCIÓN   |                               | UNIDAD | MODELOS                                |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |   |  |
|   |                               |        | ED 50A<br>TCU                          | ED 50B<br>TCU | ED 60A<br>TCU | ED 60B<br>TCU | ED 60C<br>TCU | ED 60D<br>TCU | ED 70A<br>TCU | ED 70B<br>TCU | ED 80A<br>TCU | ED 80B<br>TCU | ED 80C<br>TCU | ED 80D<br>TCU   |  |
| CAPACIDAD FRIGORÍFICA NOMINAL   |                               | kW     | 2.140                                  | 2.371         | 2.756         | 3.051         | 3.332         | 3.690         | 4.085         | 4.559         | 5.169         | 5.688         | 6.590         | 7.162   |  |
|   |                               | COP    | 1,39                                   | 1,39          | 1,39          | 1,39          | 1,39          | 1,39          | 1,39          | 1,39          | 1,39          | 1,39          | 1,39          | 1,39  |  |
| CIRCUITO AGUA REFRIGERADA   | Caudal de agua fría           | m³/h   | 368,0                                  | 407,8         | 474,1         | 524,8         | 573,1         | 634,6         | 702,7         | 784,2         | 889,1         | 978,4         | 1.133,4       | 1.231,8   |  |
|   | Temperatura entrada agua fría | °C     | 12,0                                   |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |   |  |
|   | Temperatura salida agua fría  | °C     | 7,0                                    |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |   |  |
|   | Pérdida de carga              | kPa    | 89,2                                   | 92,2          | 60,8          | 64,7          | 69,6          | 74,5          | 58,8          | 62,8          | 53,0          | 57,9          | 95,1          | 100,0   |  |
|   | Diámetro conexión             | DN     | 200                                    |               | 250           |               |               | 300           |               |               | 350           |               |               |   |  |
| CIRCUITO AGUA DE ENFRIAMIENTO (TORRE)   | Calor a disipar               | kW     | 3.688                                  | 4.087         | 4.753         | 5.260         | 5.744         | 6.361         | 7.044         | 7.860         | 8.913         | 9.807         | 11.361        | 12.347  |  |
|   | Caudal de agua enfriamiento   | m³/h   | 610,0                                  | 676,0         | 786,0         | 870,0         | 950,0         | 1.052,0       | 1.165,0       | 1.300,0       | 1.474,0       | 1.622,0       | 1.879,0       | 2.042,0   |  |
|   | Temperatura entrada agua      | °C     | 29,4                                   |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |   |  |
|   | Temperatura salida agua       | °C     | 34,6                                   |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |   |  |
|   | Pérdida de carga              | kPa    | 36,3                                   | 37,3          | 54,9          | 55,9          | 61,8          | 63,7          | 57,9          | 60,8          | 54,9          | 57,9          | 77,5          | 81,4  |  |
| CIRCUITO GASES DE ESCAPE  | Diámetro conexión             | DN     | 300                                    |               |               | 350           |               |               | 400           |               |               | 450           |               |   |  |
|   | Entrada de calor              | kW     | 1.543                                  | 1.710         | 1.989         | 2.201         | 2.404         | 2.662         | 2.948         | 3.289         | 3.729         | 4.104         | 4.754         | 5.167   |  |
|   | Temperatura entrada de gases  | °C     | 275 - 600                              |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |   |  |
|   | Temperatura salida de gases   | °C     | 170 - 200                              |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |   |  |
|   | Largo                         | mm     | 5.100                                  |               | 6.400         |               | 7.900         |               | 8.200         |               | 8.400         |               | 9.600         |   |  |
| DIMENSIONES Y PESOS   | Ancho                         | mm     | 3.400                                  |               | 3.400         |               | 3.600         |               | 3.900         |               | 4.500         |               |               |   |  |
|   | Alto                          | mm     | 3.600                                  |               | 3.600         |               | 3.700         |               | 4.200         |               | 4.500         |               |               |   |  |
|   | Peso en servicio              | tn     | 21,4                                   | 23,0          | 28,4          | 29,5          | 40,6          | 42,1          | 51,6          | 52,9          | 67,4          | 68,6          | 76,3          | 77,8  |  |
| DATOS ELÉCTRICOS  | Alimentación eléctrica        |        | 415 V (±10%), 50 Hz (±5%), 3 fases + N |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |   |  |
|   | Consumo eléctrico             | kVA    | 13,4                                   | 13,4          | 15,5          | 15,5          | 18,1          | 20,3          | 20,3          | 20,3          | 20,3          | 25,3          | 25,3          | 25,3  |  |



## ANEXO 5

## ANEXO 6



| TUBOS (Tubes)                                 |   |                                     | ALETAS (Fins)                 |                               |                      |     | ÁREA<br>(Fin Area)<br>(m2/m) | PESO<br>(Weight)<br>(kg./m.) |
|---|---|-------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------|-----|------------------------------|------------------------------|
| o Ext.<br>pul./mm.<br>Ext. Diam.<br>inch./mm. | Esp. Min.<br>(mm.)<br>Thickness<br>Min. (mm.) | Long. Max.<br>Max.<br>Lenght<br>(m) | o Ext.<br>Ext. Diam.<br>(mm.) | Espesor<br>Thickness<br>(mm.) | Cantidad<br>Quantity |     |                              |                              |
|   |   |                                     |                               |                               | p/pulg.<br>(p/inch.) | p/m |                              |                              |
| 3/4 19,05                                     | 2,1   | 11                                  | 39                            | 0,45                          | 8                    | 314 | 0,6310                       | 1,2968                       |
| 3/4 19,05                                     | 2,1   | 11                                  | 39                            | 0,45                          | 11                   | 433 | 0,8475                       | 1,4490                       |
| 7/8 22,22                                     | 2,1   | 11                                  | 42                            | 0,45                          | 8                    | 314 | 0,6967                       | 1,5060                       |
| 7/8 22,22                                     | 2,1   | 11                                  | 42                            | 0,45                          | 11                   | 433 | 0,9343                       | 1,6750                       |
| 1 25,40                                       | 2,1   | 11                                  | 50                            | 0,45                          | 8                    | 314 | 0,9946                       | 1,8640                       |
| 1 25,40                                       | 2,1   | 11                                  | 50                            | 0,45                          | 11                   | 433 | 1,3413                       | 2,1050                       |
| 1 1/4 31,75                                   | 2,1   | 11                                  | 61                            | 0,45                          | 8                    | 314 | 1,4378                       | 2,4820                       |
| 1 1/4 31,75                                   | 2,1   | 11                                  | 61                            | 0,45                          | 11                   | 433 | 1,9450                       | 2,8290                       |
| 1 1/2 38,10                                   | 2,1   | 11                                  | 68                            | 0,45                          | 8                    | 314 | 1,6878                       | 2,9750                       |
| 1 1/2 38,10                                   | 2,1   | 11                                  | 68                            | 0,45                          | 11                   | 433 | 2,2822                       | 3,3800                       |
| 1 3/4 44,45                                   | 2,1   | 11                                  | 74                            | 0,45                          | 8                    | 314 | 1,8660                       | 3,4360                       |
| 1 3/4 44,45                                   | 2,1   | 11                                  | 74                            | 0,45                          | 11                   | 433 | 2,5200                       | 3,8850                       |
| 2 50,80                                       | 2,1   | 11                                  | 80                            | 0,45                          | 8                    | 314 | 2,0430                       | 3,8783                       |
| 2 50,80                                       | 2,1   | 11                                  | 80                            | 0,45                          | 11                   | 433 | 2,7570                       | 4,3741                       |

## ANEXO 7

**TABLA PSICOMETRICA - PROPIEDADES DEL AIRE SECO**

| TEMP.<br>°C | Volumen<br>Especifico | Densidad | Entalpia  |
|-------------|-----------------------|----------|-----------|
|             | (m³/kg)               | (kg/m³)  | (kcal/kg) |
| -15         | 0.7304                | 1.3691   | 0.6722    |
| -14         | 0.7332                | 1.3638   | 0.9123    |
| -13         | 0.7363                | 1.3581   | 1.1523    |
| -12         | 0.7391                | 1.3530   | 1.3923    |
| -11         | 0.7422                | 1.3473   | 1.6323    |
| -10         | 0.7453                | 1.3416   | 1.8779    |
| -9          | 0.7480                | 1.3369   | 2.1179    |
| -8          | 0.7511                | 1.3313   | 2.3579    |
| -7          | 0.7538                | 1.3266   | 2.5980    |
| -6          | 0.7563                | 1.3222   | 2.8390    |
| -5          | 0.7591                | 1.3173   | 3.0835    |
| -4          | 0.7619                | 1.3125   | 3.3235    |
| -3          | 0.7650                | 1.3072   | 3.5636    |
| -2          | 0.7678                | 1.3024   | 3.8036    |
| -1          | 0.7706                | 1.2977   | 4.0447    |
| 0           | 0.7734                | 1.2928   | 4.2892    |
| 1           | 0.7756                | 1.2893   | 4.5292    |
| 2           | 0.7790                | 1.2837   | 4.7692    |
| 3           | 0.7822                | 1.2784   | 5.0148    |
| 4           | 0.7850                | 1.2739   | 5.2547    |
| 5           | 0.7878                | 1.2693   | 5.4948    |
| 6           | 0.7908                | 1.2645   | 5.7404    |
| 7           | 0.7933                | 1.2605   | 5.9803    |
| 8           | 0.7961                | 1.2562   | 6.2204    |
| 9           | 0.7988                | 1.2518   | 6.4615    |
| 10          | 0.8015                | 1.2476   | 6.7060    |
| 11          | 0.8044                | 1.2431   | 6.9460    |
| 12          | 0.8076                | 1.2381   | 7.1860    |
| 13          | 0.8104                | 1.2339   | 7.3983    |
| 14          | 0.8131                | 1.2297   | 7.6716    |
| 15          | 0.8159                | 1.2256   | 7.9116    |
| 16          | 0.8188                | 1.2213   | 8.1183    |
| 17          | 0.8217                | 1.2168   | 8.3972    |

| TEMP.<br>°C | Volumen<br>Especifico | Densidad | Entalpia  |
|-------------|-----------------------|----------|-----------|
|             | (m³/kg)               | (kg/m³)  | (kcal/kg) |
| 18          | 0.8244                | 1.2130   | 8.6372    |
| 19          | 0.8274                | 1.2086   | 8.8772    |
| 20          | 0.8302                | 1.2044   | 9.1228    |
| 21          | 0.8329                | 1.2006   | 9.3628    |
| 22          | 0.8360                | 1.1961   | 9.6028    |
| 23          | 0.8389                | 1.1920   | 9.8484    |
| 24          | 0.8418                | 1.1880   | 10.0706   |
| 25          | 0.8446                | 1.1839   | 10.3284   |
| 26          | 0.8474                | 1.1800   | 10.5740   |
| 27          | 0.8501                | 1.1763   | 10.7640   |
| 28          | 0.8529                | 1.1725   | 11.0540   |
| 29          | 0.8556                | 1.1687   | 11.2996   |
| 30          | 0.8583                | 1.1650   | 11.5396   |
| 31          | 0.8612                | 1.1611   | 11.7796   |
| 32          | 0.8645                | 1.1567   | 12.0252   |
| 33          | 0.8672                | 1.1531   | 12.2652   |
| 34          | 0.8700                | 1.1494   | 12.5052   |
| 35          | 0.8727                | 1.1458   | 12.7564   |
| 36          | 0.8756                | 1.1420   | 12.9908   |
| 37          | 0.8786                | 1.1382   | 13.2308   |
| 38          | 0.8816                | 1.1343   | 13.4764   |
| 39          | 0.8843                | 1.1308   | 13.7164   |
| 40          | 0.8871                | 1.1273   | 13.9620   |
| 41          | 0.8900                | 1.1236   | 14.2020   |
| 42          | 0.8932                | 1.1196   | 14.4420   |
| 43          | 0.8957                | 1.1164   | 14.6820   |
| 44          | 0.8987                | 1.1127   | 14.9276   |
| 45          | 0.9014                | 1.1093   | 15.1676   |
| 46          | 0.9042                | 1.1059   | 15.4132   |
| 47          | 0.9073                | 1.1021   | 15.6532   |
| 48          | 0.9100                | 1.0988   | 15.8955   |
| 49          | 0.9129                | 1.0954   | 16.1400   |
| 50          | 0.9158                | 1.0919   | 16.3900   |

## ANEXO 8

| PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA |                         |                  |                               |                              |                              |                           |                          |
|------------------------------|-------------------------|------------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------------|--------------------------|
| Temperatura (°C)             | Peso específico (kN/m³) | Densidad (kg/m³) | Módulo de elasticidad (kN/m²) | Viscosidad dinámica (N·s/m²) | Viscosidad cinemática (m²/s) | Tensión superficial (N/m) | Presión de vapor (kN/m²) |
| 0                            | 9,805                   | 999,8            | $1,98 \cdot 10^6$             | $1,781 \cdot 10^{-3}$        | $1,785 \cdot 10^{-6}$        | 0,0765                    | 0,61                     |
| 5                            | 9,807                   | 1000,0           | $2,05 \cdot 10^6$             | $1,518 \cdot 10^{-3}$        | $1,519 \cdot 10^{-6}$        | 0,0749                    | 0,87                     |
| 10                           | 9,804                   | 999,7            | $2,10 \cdot 10^6$             | $1,307 \cdot 10^{-3}$        | $1,306 \cdot 10^{-6}$        | 0,0742                    | 1,23                     |
| 15                           | 9,798                   | 999,1            | $2,15 \cdot 10^6$             | $1,139 \cdot 10^{-3}$        | $1,139 \cdot 10^{-6}$        | 0,0735                    | 1,70                     |
| 20                           | 9,789                   | 998,2            | $2,17 \cdot 10^6$             | $1,102 \cdot 10^{-3}$        | $1,003 \cdot 10^{-6}$        | 0,0728                    | 2,34                     |
| 25                           | 9,777                   | 997,0            | $2,22 \cdot 10^6$             | $0,890 \cdot 10^{-3}$        | $0,893 \cdot 10^{-6}$        | 0,0720                    | 3,17                     |
| 30                           | 9,764                   | 995,7            | $2,25 \cdot 10^6$             | $0,708 \cdot 10^{-3}$        | $0,800 \cdot 10^{-6}$        | 0,0712                    | 4,24                     |
| 40                           | 9,730                   | 992,2            | $2,28 \cdot 10^6$             | $0,653 \cdot 10^{-3}$        | $0,658 \cdot 10^{-6}$        | 0,0696                    | 7,38                     |
| 50                           | 9,689                   | 988,0            | $2,29 \cdot 10^6$             | $0,547 \cdot 10^{-3}$        | $0,553 \cdot 10^{-6}$        | 0,0679                    | 12,33                    |
| 60                           | 9,642                   | 983,2            | $2,28 \cdot 10^6$             | $0,466 \cdot 10^{-3}$        | $0,474 \cdot 10^{-6}$        | 0,0662                    | 19,92                    |
| 70                           | 9,589                   | 977,8            | $2,25 \cdot 10^6$             | $0,404 \cdot 10^{-3}$        | $0,413 \cdot 10^{-6}$        | 0,0644                    | 31,16                    |
| 80                           | 9,530                   | 971,8            | $2,20 \cdot 10^6$             | $0,354 \cdot 10^{-3}$        | $0,364 \cdot 10^{-6}$        | 0,0626                    | 47,34                    |
| 90                           | 9,466                   | 965,3            | $2,14 \cdot 10^6$             | $0,315 \cdot 10^{-3}$        | $0,326 \cdot 10^{-6}$        | 0,0608                    | 70,10                    |
| 100                          | 9,399                   | 958,4            | $2,07 \cdot 10^6$             | $0,282 \cdot 10^{-3}$        | $0,294 \cdot 10^{-6}$        | 0,0589                    | 101,33                   |

## ANEXO 9



TABLA A-15

Propiedades del aire a la presión de 1 atm

| Temp.,<br>$T$ , °C | Densidad,<br>$\rho$ , kg/m <sup>3</sup> | Calor<br>específico,<br>$C_p$ , J/kg · °C | Conductividad<br>térmica,<br>$k$ , W/m · °C | Difusividad<br>térmica,<br>$\alpha$ , m <sup>2</sup> /s | Viscosidad<br>dinámica,<br>$\mu$ , kg/m · s | Viscosidad<br>cinemática,<br>$\nu$ , m <sup>2</sup> /s | Número<br>de Prandtl,<br>Pr |
|--------------------|---|---|---|---|---|--|-----------------------------|
| -150               | 2.866                                   | 983                                       | 0.01171                                     | $4.158 \times 10^{-6}$                                  | $8.636 \times 10^{-6}$                      | $3.013 \times 10^{-6}$                                 | 0.7246                      |
| -100               | 2.038                                   | 966                                       | 0.01582                                     | $8.036 \times 10^{-6}$                                  | $1.189 \times 10^{-6}$                      | $5.837 \times 10^{-6}$                                 | 0.7263                      |
| -50                | 1.582                                   | 999                                       | 0.01979                                     | $1.252 \times 10^{-5}$                                  | $1.474 \times 10^{-5}$                      | $9.319 \times 10^{-6}$                                 | 0.7440                      |
| -40                | 1.514                                   | 1 002                                     | 0.02057                                     | $1.356 \times 10^{-5}$                                  | $1.527 \times 10^{-5}$                      | $1.008 \times 10^{-5}$                                 | 0.7436                      |
| -30                | 1.451                                   | 1 004                                     | 0.02134                                     | $1.465 \times 10^{-5}$                                  | $1.579 \times 10^{-5}$                      | $1.087 \times 10^{-5}$                                 | 0.7425                      |
| -20                | 1.394                                   | 1 005                                     | 0.02211                                     | $1.578 \times 10^{-5}$                                  | $1.630 \times 10^{-5}$                      | $1.169 \times 10^{-5}$                                 | 0.7408                      |
| -10                | 1.341                                   | 1 006                                     | 0.02288                                     | $1.696 \times 10^{-5}$                                  | $1.680 \times 10^{-5}$                      | $1.252 \times 10^{-5}$                                 | 0.7387                      |
| 0                  | 1.292                                   | 1 006                                     | 0.02364                                     | $1.818 \times 10^{-5}$                                  | $1.729 \times 10^{-5}$                      | $1.338 \times 10^{-5}$                                 | 0.7362                      |
| 5                  | 1.269                                   | 1 006                                     | 0.02401                                     | $1.880 \times 10^{-5}$                                  | $1.754 \times 10^{-5}$                      | $1.382 \times 10^{-5}$                                 | 0.7350                      |
| 10                 | 1.246                                   | 1 006                                     | 0.02439                                     | $1.944 \times 10^{-5}$                                  | $1.778 \times 10^{-5}$                      | $1.426 \times 10^{-5}$                                 | 0.7336                      |
| 15                 | 1.225                                   | 1 007                                     | 0.02476                                     | $2.009 \times 10^{-5}$                                  | $1.802 \times 10^{-5}$                      | $1.470 \times 10^{-5}$                                 | 0.7323                      |
| 20                 | 1.204                                   | 1 007                                     | 0.02514                                     | $2.074 \times 10^{-5}$                                  | $1.825 \times 10^{-5}$                      | $1.516 \times 10^{-5}$                                 | 0.7309                      |
| 25                 | 1.184                                   | 1 007                                     | 0.02551                                     | $2.141 \times 10^{-5}$                                  | $1.849 \times 10^{-5}$                      | $1.562 \times 10^{-5}$                                 | 0.7296                      |
| 30                 | 1.164                                   | 1 007                                     | 0.02588                                     | $2.208 \times 10^{-5}$                                  | $1.872 \times 10^{-5}$                      | $1.608 \times 10^{-5}$                                 | 0.7282                      |
| 35                 | 1.145                                   | 1 007                                     | 0.02625                                     | $2.277 \times 10^{-5}$                                  | $1.895 \times 10^{-5}$                      | $1.655 \times 10^{-5}$                                 | 0.7268                      |
| 40                 | 1.127                                   | 1 007                                     | 0.02662                                     | $2.346 \times 10^{-5}$                                  | $1.918 \times 10^{-5}$                      | $1.702 \times 10^{-5}$                                 | 0.7255                      |
| 45                 | 1.109                                   | 1 007                                     | 0.02699                                     | $2.416 \times 10^{-5}$                                  | $1.941 \times 10^{-5}$                      | $1.750 \times 10^{-5}$                                 | 0.7241                      |
| 50                 | 1.092                                   | 1 007                                     | 0.02735                                     | $2.487 \times 10^{-5}$                                  | $1.963 \times 10^{-5}$                      | $1.798 \times 10^{-5}$                                 | 0.7228                      |
| 60                 | 1.059                                   | 1 007                                     | 0.02808                                     | $2.632 \times 10^{-5}$                                  | $2.008 \times 10^{-5}$                      | $1.896 \times 10^{-5}$                                 | 0.7202                      |
| 70                 | 1.028                                   | 1 007                                     | 0.02881                                     | $2.780 \times 10^{-5}$                                  | $2.052 \times 10^{-5}$                      | $1.995 \times 10^{-5}$                                 | 0.7177                      |
| 80                 | 0.9994                                  | 1 008                                     | 0.02953                                     | $2.931 \times 10^{-5}$                                  | $2.096 \times 10^{-5}$                      | $2.097 \times 10^{-5}$                                 | 0.7154                      |
| 90                 | 0.9718                                  | 1 008                                     | 0.03024                                     | $3.086 \times 10^{-5}$                                  | $2.139 \times 10^{-5}$                      | $2.201 \times 10^{-5}$                                 | 0.7132                      |
| 100                | 0.9458                                  | 1 009                                     | 0.03095                                     | $3.243 \times 10^{-5}$                                  | $2.181 \times 10^{-5}$                      | $2.306 \times 10^{-5}$                                 | 0.7111                      |
| 120                | 0.8977                                  | 1 011                                     | 0.03235                                     | $3.565 \times 10^{-5}$                                  | $2.264 \times 10^{-5}$                      | $2.522 \times 10^{-5}$                                 | 0.7073                      |
| 140                | 0.8542                                  | 1 013                                     | 0.03374                                     | $3.898 \times 10^{-5}$                                  | $2.345 \times 10^{-5}$                      | $2.745 \times 10^{-5}$                                 | 0.7041                      |
| 160                | 0.8148                                  | 1 016                                     | 0.03511                                     | $4.241 \times 10^{-5}$                                  | $2.420 \times 10^{-5}$                      | $2.975 \times 10^{-5}$                                 | 0.7014                      |
| 180                | 0.7788                                  | 1 019                                     | 0.03646                                     | $4.593 \times 10^{-5}$                                  | $2.504 \times 10^{-5}$                      | $3.212 \times 10^{-5}$                                 | 0.6992                      |
| 200                | 0.7459                                  | 1 023                                     | 0.03779                                     | $4.954 \times 10^{-5}$                                  | $2.577 \times 10^{-5}$                      | $3.455 \times 10^{-5}$                                 | 0.6974                      |
| 250                | 0.6746                                  | 1 033                                     | 0.04104                                     | $5.890 \times 10^{-5}$                                  | $2.760 \times 10^{-5}$                      | $4.091 \times 10^{-5}$                                 | 0.6946                      |
| 300                | 0.6158                                  | 1 044                                     | 0.04418                                     | $6.871 \times 10^{-5}$                                  | $2.934 \times 10^{-5}$                      | $4.765 \times 10^{-5}$                                 | 0.6935                      |
| 350                | 0.5664                                  | 1 056                                     | 0.04721                                     | $7.892 \times 10^{-5}$                                  | $3.101 \times 10^{-5}$                      | $5.475 \times 10^{-5}$                                 | 0.6937                      |
| 400                | 0.5243                                  | 1 069                                     | 0.05015                                     | $8.951 \times 10^{-5}$                                  | $3.261 \times 10^{-5}$                      | $6.219 \times 10^{-5}$                                 | 0.6948                      |
| 450                | 0.4880                                  | 1 081                                     | 0.05298                                     | $1.004 \times 10^{-4}$                                  | $3.415 \times 10^{-5}$                      | $6.997 \times 10^{-5}$                                 | 0.6965                      |
| 500                | 0.4565                                  | 1 093                                     | 0.05572                                     | $1.117 \times 10^{-4}$                                  | $3.563 \times 10^{-5}$                      | $7.806 \times 10^{-5}$                                 | 0.6986                      |
| 600                | 0.4042                                  | 1 115                                     | 0.06093                                     | $1.352 \times 10^{-4}$                                  | $3.846 \times 10^{-5}$                      | $9.515 \times 10^{-5}$                                 | 0.7037                      |
| 700                | 0.3627                                  | 1 135                                     | 0.06581                                     | $1.598 \times 10^{-4}$                                  | $4.111 \times 10^{-5}$                      | $1.133 \times 10^{-4}$                                 | 0.7092                      |
| 800                | 0.3289                                  | 1 153                                     | 0.07037                                     | $1.855 \times 10^{-4}$                                  | $4.362 \times 10^{-5}$                      | $1.326 \times 10^{-4}$                                 | 0.7149                      |
| 900                | 0.3008                                  | 1 169                                     | 0.07465                                     | $2.122 \times 10^{-4}$                                  | $4.600 \times 10^{-5}$                      | $1.529 \times 10^{-4}$                                 | 0.7206                      |
| 1 000              | 0.2772                                  | 1 184                                     | 0.07868                                     | $2.398 \times 10^{-4}$                                  | $4.826 \times 10^{-5}$                      | $1.741 \times 10^{-4}$                                 | 0.7260                      |
| 1 500              | 0.1990                                  | 1 234                                     | 0.09599                                     | $3.908 \times 10^{-4}$                                  | $5.817 \times 10^{-5}$                      | $2.922 \times 10^{-4}$                                 | 0.7478                      |
| 2 000              | 0.1553                                  | 1 264                                     | 0.11113                                     | $5.664 \times 10^{-4}$                                  | $6.630 \times 10^{-5}$                      | $4.270 \times 10^{-4}$                                 | 0.7539                      |

Nota: Para los gases ideales, las propiedades  $C_p$ ,  $k$ ,  $\mu$  y Pr son independientes de la presión. Las propiedades  $\rho$ ,  $\nu$  y  $\alpha$  a una presión  $P$  (en atm) diferente de 1 atm se determinan al multiplicar los valores de  $\rho$ ,  $\nu$  y  $\alpha$  por  $P$  y al dividir  $\nu$  y  $\alpha$  entre  $P$ .

Fuente: Datos generados basándose en el software EES desarrollado por S. A. Klein y F. L. Alvarado. Fuentes originales: Keenan, Chao, Keyes, Gas Tables, Wiley, 198, y Thermophysical Properties of Matter, Vol. 3: Thermal Conductivity, Y. S. Touloukian, P. E. Liley, S. C. Saxena, Vol. 11: Viscosity, Y. S. Touloukian, S. C. Saxena y P. Hestermans, IFI/Plenum, NY, ISBN 0-306067020-8.

## ANEXO 10

Propiedades físicas del aire y gases de combustión de composición estándar.

| T, °C | Aire                                      |                               |      | Gases de combustión de<br>composición estándar |                               |      |
|-------|---|-------------------------------|------|--|-------------------------------|------|
|       | $\nu \cdot 10^6$ ,<br>[m <sup>2</sup> /s] | $k \cdot 10^2$ ,<br>[W/m · K] | Pr   | $\nu \cdot 10^6$ ,<br>[m <sup>2</sup> /s]      | $k \cdot 10^2$ ,<br>[W/m · K] | Pr   |
| 0     | 13.6                                      | 2.42                          | 0.70 | 11.9   | 2.27                          | 0.74 |
| 100   | 23.5                                      | 3.18                          | 0.69 | 20.8   | 3.12                          | 0.70 |
| 200   | 35.3                                      | 3.89                          | 0.69 | 31.6   | 4.00                          | 0.67 |
| 300   | 48.9                                      | 4.47                          | 0.69 | 43.9   | 4.82                          | 0.65 |
| 400   | 63.8                                      | 5.03                          | 0.70 | 57.8   | 5.68                          | 0.64 |
| 500   | 73.2                                      | 5.60                          | 0.70 | 73.0   | 6.54                          | 0.62 |
| 600   | 98.0                                      | 6.14                          | 0.71 | 89.4   | 7.40                          | 0.61 |
| 700   | 116                                       | 6.65                          | 0.71 | 107.0  | 8.25                          | 0.60 |
| 800   | 136                                       | 7.12                          | 0.72 | 126.0  | 9.13                          | 0.59 |
| 900   | 157                                       | 7.59                          | 0.72 | 146.0  | 9.99                          | 0.58 |
| 1000  | 179                                       | 8.03                          | 0.72 | 167.0  | 10.87                         | 0.58 |

## ANEXO 11



## Viscosidad dinámica del agua líquida a varias temperaturas

| Temperatura<br>°C | Viscosidad<br>dinámica<br>kg / (m·s) | Temperatura<br>°C | Viscosidad<br>dinámica<br>kg / (m·s) | Temperatura<br>°C | Viscosidad<br>dinámica<br>kg / (m·s) |
|-------------------|--------------------------------------|-------------------|--------------------------------------|-------------------|--------------------------------------|
| 0                 | 0,001792                             | 34                | 0,000734                             | 68                | 0,000416                             |
| 1                 | 0,001731                             | 35                | 0,000720                             | 69                | 0,000410                             |
| 2                 | 0,001674                             | 36                | 0,000705                             | 70                | 0,000404                             |
| 3                 | 0,001620                             | 37                | 0,000692                             | 71                | 0,000399                             |
| 4                 | 0,001569                             | 38                | 0,000678                             | 72                | 0,000394                             |
| 5                 | 0,001520                             | 39                | 0,000666                             | 73                | 0,000388                             |
| 6                 | 0,001473                             | 40                | 0,000653                             | 74                | 0,000383                             |
| 7                 | 0,001429                             | 41                | 0,000641                             | 75                | 0,000378                             |
| 8                 | 0,001386                             | 42                | 0,000629                             | 76                | 0,000373                             |
| 9                 | 0,001346                             | 43                | 0,000618                             | 77                | 0,000369                             |
| 10                | 0,001308                             | 44                | 0,000607                             | 78                | 0,000364                             |
| 11                | 0,001271                             | 45                | 0,000596                             | 79                | 0,000359                             |
| 12                | 0,001236                             | 46                | 0,000586                             | 80                | 0,000355                             |
| 13                | 0,001202                             | 47                | 0,000576                             | 81                | 0,000351                             |
| 14                | 0,001170                             | 48                | 0,000566                             | 82                | 0,000346                             |
| 15                | 0,001139                             | 49                | 0,000556                             | 83                | 0,000342                             |
| 16                | 0,001109                             | 50                | 0,000547                             | 84                | 0,000338                             |
| 17                | 0,001081                             | 51                | 0,000538                             | 85                | 0,000334                             |
| 18                | 0,001054                             | 52                | 0,000529                             | 86                | 0,000330                             |
| 19                | 0,001028                             | 53                | 0,000521                             | 87                | 0,000326                             |
| 20                | 0,001003                             | 54                | 0,000512                             | 88                | 0,000322                             |
| 21                | 0,000979                             | 55                | 0,000504                             | 89                | 0,000319                             |
| 22                | 0,000955                             | 56                | 0,000496                             | 90                | 0,000315                             |
| 23                | 0,000933                             | 57                | 0,000489                             | 91                | 0,000311                             |
| 24                | 0,000911                             | 58                | 0,000481                             | 92                | 0,000308                             |
| 25                | 0,000891                             | 59                | 0,000474                             | 93                | 0,000304                             |
| 26                | 0,000871                             | 60                | 0,000467                             | 94                | 0,000301                             |
| 27                | 0,000852                             | 61                | 0,000460                             | 95                | 0,000298                             |
| 28                | 0,000833                             | 62                | 0,000453                             | 96                | 0,000295                             |
| 29                | 0,000815                             | 63                | 0,000447                             | 97                | 0,000291                             |
| 30                | 0,000798                             | 64                | 0,000440                             | 98                | 0,000288                             |
| 31                | 0,000781                             | 65                | 0,000434                             | 99                | 0,000285                             |
| 32                | 0,000765                             | 66                | 0,000428                             | 100               | 0,000282                             |
| 33                | 0,000749                             | 67                | 0,000422                             |                   |                                      |

## ANEXO 12

#### Características técnicas

|                           |              |       |          |
|---------------------------|--------------|-------|----------|
| Rendimiento               | 1 KW         | hasta | 30 MW    |
| Superficie de intercambio | 0,11 m²      | hasta | 2.000 m² |
| Diámetro de carcasa       | 60 mm        | hasta | 2.000 mm |
| Temperatura de servicio   | -20°C        | hasta | 500°C    |
| Presión de servicio       | max. 600 bar |       |          |

#### Intercambiadores de calor de carcasa y tubos FUNKE

- Intercambiadores de calor de seguridad/de tubos rectos/de tubos en U
- en todos los modelos habituales
- para todos los medios líquidos y gaseosos habituales

#### Equipos de serie

**TDW, BCF, CCFA, SWF, CPS, WRA 200**

Las geometrías predefinidas de los equipos nos permiten ofrecer:

- plazos de entrega breves
- una excelente relación precio/rendimiento
- la confianza de modelos probados

#### Soluciones específicas

**CP, A 100, C 100 ... C 500**

Para la construcción de equipos a medida seguimos escrupulosamente:

- las especificaciones de su empresa
- los estándares de las empresas de ingeniería
- las normas de diseño internacionales

#### Ventajas de los intercambiadores de calor de carcasa y tubos FUNKE (RWT):

- soluciones específicas por encargo y equipos estándar consolidados que cumplen todas las directivas y regulaciones internacionales (PED, ASME, TEMA, API)
- diseños óptimos efectuados con los programas informáticos más reconocidos a nivel internacional (como HTRI)
- transferencia de calor fiable incluso con medios críticos
- resistentes a presiones y temperaturas de servicio muy elevadas
- baja tendencia al 'fouling' gracias a sus características de flujo óptimas
- alto grado de seguridad ante la mezcla de medios
- construcción robusta y de alta calidad
- bajos costes de inversión, servicio y mantenimiento en relación con la vida útil
- fácil apertura y limpieza

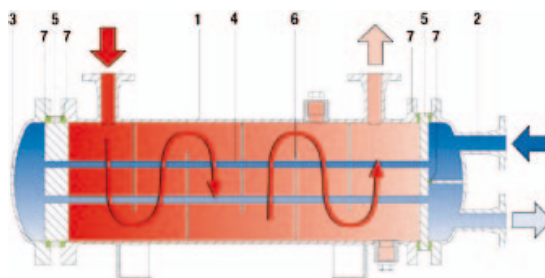
## Diseño y funcionamiento

Un intercambiador de calor de carcasa y tubos es un depósito a presión sin combustión que consiste en dos cámaras de presión independientes (lado carcasa y lado tubos). Por las dos cámaras fluyen dos medios de tal forma que cuando existe una diferencia de temperatura entre ellos, el calor se intercambia sin que los medios se mezclen. Como muestra el dibujo, uno de los medios fluye por el lado de la carcasa, mientras que el otro fluye por el interior de los tubos. En la carcasa se encuentran los baffles cuya función es forzar a que la dirección del flujo sea lo más perpendicular posible a los tubos. La forma y la distancia entre los baffles varían en función del uso al que estén destinados.

Según la finalidad, velocidad y pérdida de presión, el paso del flujo por los tubos se realizará una o múltiples veces. Si exceptuamos la pérdida de calor por radiación, la cantidad de calor de entrada es igual a la de calor transferido.

#### Componentes del intercambiador de calor de carcasa y tubos

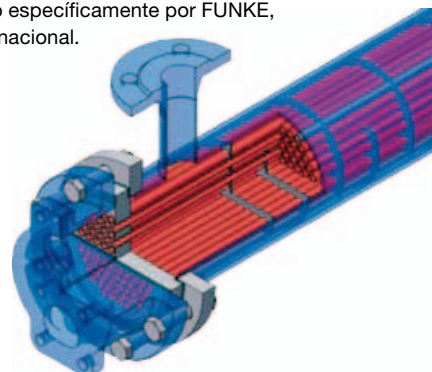
- |                               |                       |
|-------------------------------|-----------------------|
| 1. Carcasa del intercambiador | 5. Placas tubulares   |
| 2. Cámara de conexión         | 6. Baffles            |
| 3. Cámara de retorno          | 7. Sellado del equipo |
| 4. Tubos internos             |                       |



No obstante, un intercambio de calor efectivo solo se puede producir cuando existe una diferencia de calor suficiente. Cuanto mayor sea la diferencia de temperatura, menor será la superficie de transferencia de calor necesaria. La capacidad de transferencia de calor de un intercambiador es el resultado del logaritmo de la diferencia media de temperatura, la superficie de transferencia de calor y el coeficiente de transferencia de calor. El coeficiente de transferencia de calor viene determinado en buena medida por la trayectoria de los fluidos, es decir, por el diseño geométrico del intercambiador.

Por otra parte, el proveedor de intercambiadores de calor debe disponer de amplios conocimientos prácticos de las propiedades termodinámicas de ciertos medios bajo determinadas presiones y temperaturas, incluidos los factores que afectan al 'fouling' (ensuciamiento) y la compatibilidad de los materiales.

El cálculo y diseño de los intercambiadores de calor FUNKE se realiza con programas líder a nivel mundial (como el HTRI, Heat Transfer Research Institute, EE. UU.) y con el software desarrollado específicamente por FUNKE, que ya se utiliza a nivel internacional.



## ANEXO 13





Level



Pressure



Flow



Temperature

Liquid  
Analysis

Registration

Systems  
Components

Services



Solutions

## Technical Information

# Omnigrad S TMT162R

RTD assembly

with HART<sup>®</sup>-, FOUNDATION Fieldbus<sup>™</sup>-

or PROFIBUS<sup>®</sup> PA field transmitter



### Application

- Chemical/pharmaceutical industry
- Petrochemical industry
- Energy industry
- Paper industry
- General industrial applications

The TMT162R RTD assembly comprises a measuring insert (Pt100) and an electronic field transmitter with HART<sup>®</sup>, FOUNDATION Fieldbus<sup>™</sup> or PROFIBUS<sup>®</sup> PA protocol.

### Features and benefits

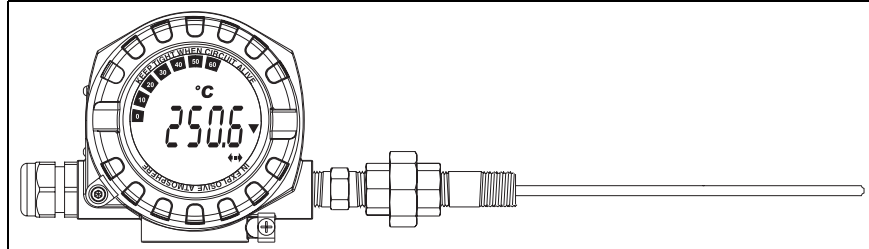
- Dual compartment housing
- Backlit display with large measured value, bargraph and fault condition indication
- Galvanic isolation 2 kV (sensor input to the output)
- Wide range of threaded thermowell connections available as standard, additional connections available on request
- Replaceable measuring insert comprising a mineral-insulated tube (SS 316L/1.4404)
- Pt100 measuring resistor with accuracy class A (IEC 60751) or 1/3 DIN B to maximize the measuring range: -200 to +600 °C (-328 to 1112 °F)
- Aluminum or stainless steel housing, degree of protection IP67, NEMA 4x
- Approvals for hazardous areas:  
Flameproof enclosure (Ex d)  
Intrinsic safety (Ex ia)  
Non-sparking (Ex nA)
- Optional: 2 x Pt100 (3-wire), e.g. for redundant applications or differential measurement
- Optional factory calibration

## Function and system design

### Measuring principle

The resistance temperature detector (RTD) element has an electrical resistance with a value of  $100\ \Omega$  at  $0\ ^\circ\text{C}$  ( $32\ ^\circ\text{F}$ ). It is commonly known as Pt100 and complies with IEC 60751. This resistance value increases at higher temperatures according to the characteristics of the sensor material (platinum). These kinds of sensors are called Positive Temperature Coefficient elements (PTC). The coefficient is fixed with  $\alpha = 0.00385\ ^\circ\text{C}^{-1}$ , calculated between  $0$  and  $100\ ^\circ\text{C}$  ( $32$  and  $212\ ^\circ\text{F}$ ), according to ITS90 (International Temperature Scale).

### Measuring system



TMT162R

TMT162R\_G\_6d\_07\_xx\_04

The TMT162R RTD assembly comprises a measuring insert with a Pt100 sensor element and the iTEMP® TMT162 field transmitter which can be configured using the HART®, FOUNDATION Fieldbus™ or PROFIBUS® PA protocol. A thermowell can be ordered separately.

The Pt100 sensor element complies with IEC 60751 and withstands loads that typically occur in the most common industrial processes. The wire wound (WW) version of the sensor is supplied and is located in the tip of the measuring insert. The measuring insert is a replaceable unit and is installed in a thermowell.

A spring system presses the measuring insert against the base of the thermowell to improve the transmission of heat.

The transmitter housing is made of die-cast aluminum or stainless steel. It can be purchased with or without an LC display. The minimum degree of protection, IP65, is achieved by sealing glands at the cable entry and the thermometer connection. Depending on the customer's requirements, customers can choose from thermowells constructed from welded tubes and thermowells made of drilled barstock material. The thermowells are available in various shapes and sizes and with a wide range of process connections (thread, flange or weld-on connections, see page 12).

### Measurement range

$-200 \dots 600\ ^\circ\text{C}$  ( $-328 \dots 1112\ ^\circ\text{F}$ ) according to IEC 60751

## Performance characteristics

### Operating conditions

#### Ambient temperature limits

- Without display:  $-40$  to  $+85\ ^\circ\text{C}$  ( $-40$  to  $185\ ^\circ\text{F}$ )
- With display:  $-40$  to  $+80\ ^\circ\text{C}$  ( $-40$  to  $176\ ^\circ\text{F}$ )

For use in Ex area, see Ex certificate.



#### Note!

At temperatures  $< -20\ ^\circ\text{C}$  ( $-4\ ^\circ\text{F}$ ), the display may react slowly. Readability of the display cannot be guaranteed at temperatures  $< -30\ ^\circ\text{C}$  ( $-22\ ^\circ\text{F}$ ).

### Storage temperature

- Without display:  $-40$  to  $+100\ ^\circ\text{C}$  ( $-40$  to  $212\ ^\circ\text{F}$ )
- With display:  $-40$  to  $+80\ ^\circ\text{C}$  ( $-40$  to  $176\ ^\circ\text{F}$ )

**Process pressure/flow velocity**

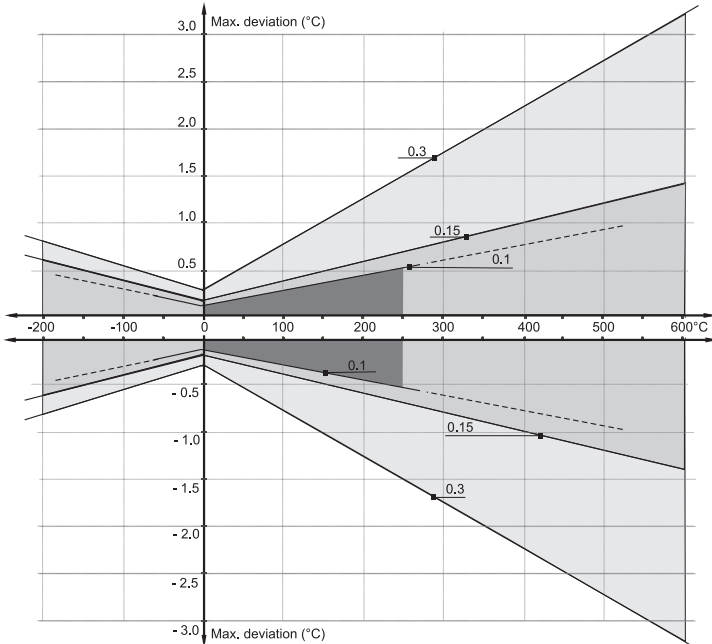
The load limits of the thermometer depend on the thermowell used and are listed in the technical information specific to the individual thermowells (see page 12). Factors that affect the load limits include the process pressure, flow velocity, density of the medium, temperature, immersion depth, length of the thermowell in the flowing medium etc. In critical situations, a load capacity calculation for the thermowell can be ordered from Endress+Hauser.

**Shock and vibration resistance**

3 g (max. value)/ 10 to 500 Hz as per IEC 60 068-2-6

**Accuracy**

RTD corresponding to IEC 60751

| Class  | max. Tolerances (°C)              | Temperature range  | Characteristics   |
|--|-----------------------------------|--------------------|---|
| <b>RTD max. error type WW - range: -200 to +600 °C</b> |                                   |                    |   |
| W0.15 (Cl. A)  | $0.15 \pm 0.002 \cdot  t ^{(1)}$  | -200 °C to +600 °C |  |
| W0.1 (Cl. AA former 1/3 Cl. B)                         | $0.10 \pm 0.0017 \cdot  t ^{(1)}$ | 0 °C to +250 °C    |   |
| W0.3 (Cl. B)   | $0.3 \pm 0.005 \cdot  t ^{(1)}$   | -200 °C to +600 °C |   |

1.  $|t|$  = absolute value °C

**Note!**

For measurement errors in °F, calculate using equations above in °C, then multiply the outcome by 1.8.

The 4-wire technology is the optimum connection method for RTDs. Here, the measurement is effected by means of a measuring and supply circuit, making it completely independent of the properties of the cable. When using Pt100 sensors, Class A or 1/3DIN B, it is always presumed that 4-wire measurement is carried out in accordance with IEC 60751 since the best measuring results can be obtained in practice in this way.

**Response time**

Tests in water at 0.4 m/s (1.3 ft/s), according to IEC 60751; 10 K temperature step changes; response time for the assembly without thermowell and transmitter:

- $t_{50}$ : 3.5 s
- $t_{90}$ : 8 s

**Insulation resistance**

Insulation resistance  $\geq 100 \text{ M}\Omega$  at ambient temperature.

Insulation resistance between each terminal and the sheath is tested with a voltage of 250 V DC.

**Transmitter specifications**

|                                   | TMT162 FF/PA     | TMT162 HART®     |                  |
|-----------------------------------|------------------|------------------|------------------|
| Measurement accuracy              | 0.1 °C (0.18 °F) | Accuracy         |                  |
|                                   |                  | Digital          | D/A <sup>1</sup> |
|                                   |                  | 0.1 °C (0.18 °F) | 0.02%            |
| Sensor current                    | ≤ 0.3 mA         |                  |                  |
| Galvanic isolation (input/output) | U = 2 kV AC      |                  |                  |

1. % relates to the set span. Accuracy = digital + D/A accuracy, for 4 to 20 mA output

**Self heating**

Negligibly small

**Material**

| Housing   | Nameplate                         | Neck, insert                       |
|---|-----------------------------------|------------------------------------|
| Die-cast aluminum housing AISI10Mg with powder coating on polyester basis | Aluminum AlMgI, anodized in black | Stainless steel 1.4404 (AISI 316L) |
| Stainless steel 1.4435 (AISI 316L)  | 1.4301 (AISI 304)                 |                                    |

## Installation conditions

**Orientation**

No restrictions.

**Electromagnetic compatibility (EMC)****CE Electromagnetic Compatibility Compliance**

EMC meets all relevant requirements listed under EN 61326 Series and NAMUR NE21. Details as per declaration of conformity.

This recommendation is a uniform and practical way of determining whether the devices used in laboratories and process control are immune to interference with an objective to increase its functional safety.

|                               |               |   |                                    |
|-------------------------------|---------------|---|------------------------------------|
| ESD (Electrostatic discharge) | IEC 61000-4-2 | 6 kV cont., 8 kV air  |                                    |
| Electromagnetic fields        | IEC 61000-4-3 | 0.08 to 2 GHz<br>(0.08 to 4 GHz for FF)<br>0.08 to 2 GHz for HART<br>2 to 2.7 GHz | 10 V/m<br>10 V/m<br>30 V/m<br>1V/m |
| Burst (fast transient)        | IEC 61000-4-4 | 1 kV (2 kV for HART)  |                                    |
| surge                         | IEC 61000-4-5 | 1 kV asym. (0.5 kV sym. for HART)   |                                    |
| Conducted RF                  | IEC 61000-4-6 | 0.01 to 80 MHz  | 10 V                               |

## ANEXO 14

# Válvula de Control de Flujo



## Componentes Básicos

| Art. | Descripción                        |
|------|------------------------------------|
| 1    | Hytrol (Válvula Principal)         |
| 2    | X58C Conector Restrictor           |
| 3    | CDHS18 Control Diferencial         |
| 4    | X52E Ensamble de plato de Orificio |

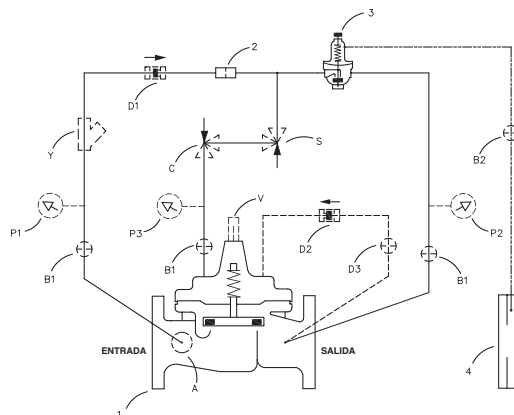
## Componentes Opcionales

| Art. | Descripción                                 |
|------|---|
| A    | X46A Cedazo Autolimpiable                   |
| B    | CK2 (Válvula de bloqueo)                    |
| C    | CV Control de Flujo (Cierre)                |
| D    | Válvula Antirretorno con Válvula de bloqueo |
| P    | X141 Manómetro                              |
| S    | CV Control de Velocidad (Apertura)          |
| V    | X101 Indicador de Posición de la Válvula    |
| Y    | X43 Cedazo Tipo "Y"                         |

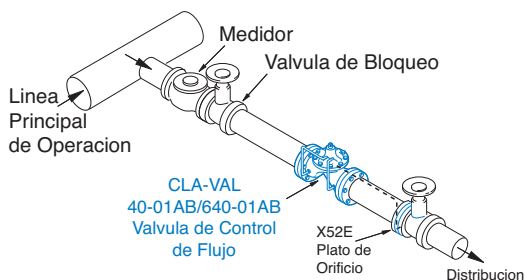
- **Limites Precisos en Control de Flujo**
- **Operación Completamente Automática**
- **Incluye Plato de Orificio con Manijas**
- **Configuración Antirretorno Disponible**
- **Fácilmente Ajustable**

La Válvula de Control de Flujo modelo 40-01/640-01 de Cla-Val previene el exceso de caudal limitando el flujo a un rango máximo predeterminado, sin importar el cambio de presión en la línea. Es una válvula de diafragma, operada hidráulicamente, controlada por piloto. El piloto de control responde a un diferencial de presión producida a través de un plato de orificio instalado en la descarga de la válvula. Un control confiable es asegurado aun con cambios muy pequeños en el controlador de diferencial de presión que produce una acción correctiva inmediata en la válvula principal. Las calibraciones de rango de flujo se girando el tornillo de ajuste en el piloto de control.

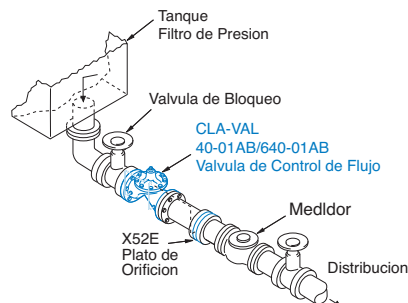
El modelo 40-01/640-01 incluye un plato de orificio con manijas, que debe instalarse de 1 a 5 diámetros de tubería después de la brida de descarga de la válvula. Si se agrega una válvula antirretorno en la configuración y existe un regreso de presión, la presión aguas abajo es admitida en la cámara principal en la tapa cerrando la válvula para prevenir flujo inverso. Revise la hoja de datos X52E para selección de medida.



## Aplicaciones Típicas



El modelo 40-01/640-01 es instalado típicamente donde el suministro de agua a un sistema debe ser limitado a un rango máximo de flujo pre-seleccionado. La válvula es fácilmente ajustable para mantener el rango de flujo máximo permitido.



El modelo 40-01/640-01 es típicamente instalada como válvula de control de flujo en filtros tipo presión donde se mantiene un flujo consatnde como perdida por las variaciones a través del filtro.

## Modelo 40-01 (Utilizan Válvula Básica 100-01)

### Rangos de Presión (Presión Máxima Recomendada – psi)

| Cuerpo de la Válvula y Tapa |                 | Clase por Presión |           |           |             |
|-----------------------------|-----------------|-------------------|-----------|-----------|-------------|
|                             |                 | Bridada           |           | Roscada   |             |
| Grado                       | Material        | ANSI Estándar*    | 150 Clase | 300 Clase | Terminales‡ |
| ASTM A536                   | Hierro Dúctil   | B16.42            | 250       | 400       | 400         |
| ASTM A216-WCB               | Acero al Carbón | B16.5             | 285       | 400       | 400         |
| ASTM B62                    | Bronce          | B16.24            | 225       | 400       | 400         |

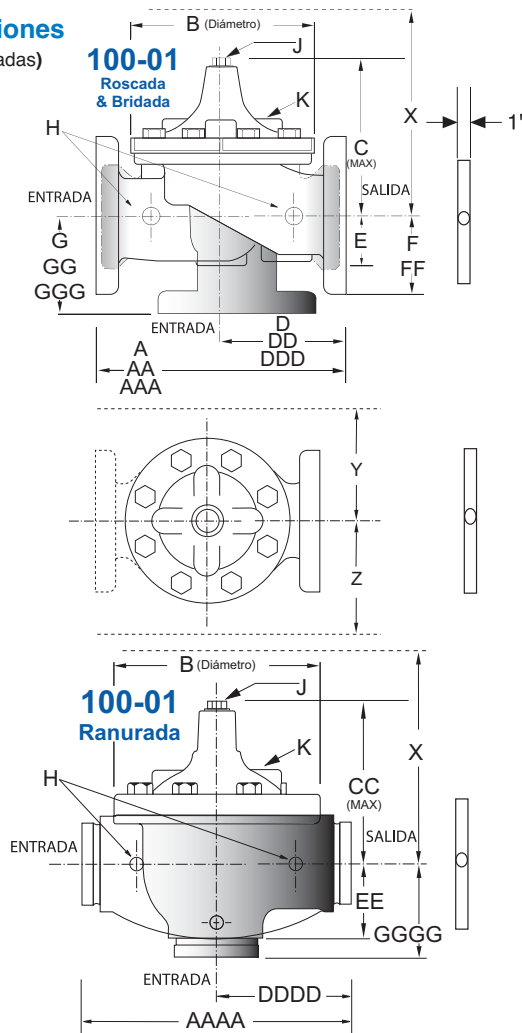
Nota: \*Los estándares ANSI son solo p/dimensiones de brida.  
Válvulas bridadas disponibles con cara no perforadas  
‡Terminales según especificaciones ANSI B2.1  
**Válvula para mayor presión están disponible; con fábrica para detalles**

### Materiales

| Componente                                   | Materiales Estándar Combinados                        |                 |              |
|--|---|-----------------|--------------|
| Cuerpo y Tapa                                | Hierro Dúctil   | Acero al Carbón | Bronce       |
| Medidas disponibles                          | 1 1/2" - 36"  | 1-1/2" - 16"    | 1-1/2" - 16" |
| Disco retenedor y Rondanas de Diafragma      | Hierro Fundido  | Acero al Carbón | Bronce       |
| Internos: Disco Guía, Asiento y Buje de Tapa | Bronce es el Estándar<br>Acero Inoxidable es Opcional |                 |              |
| Disco  | Hule Buna-N®  |                 |              |
| Diafragma                                    | Hule Buna-N® con Nylon Reforzado                      |                 |              |
| Vástago, Tuerca, Resorte                     | Acero Inoxidable                                      |                 |              |

Para materiales no mencionados, consulte a fábrica  
Cia-Val fabrica válvulas en mas de 50 aleaciones diferentes

### Dimensiones (En pulgadas)



### Dimensiones de Modelo 40-01 (en pulgadas)

| Medida de Válvula (pulgadas) | 1 1/2 | 2     | 2 1/2 | 3     | 4     | 6     | 8     | 10    | 12    | 14    | 16    | 18    | 20    | 24    | 30    | 36    |
|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| A Roscada                    | 7.25  | 9.38  | 11.00 | 12.50 | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     |
| AA 150 ANSI                  | 8.50  | 9.38  | 11.00 | 12.00 | 15.00 | 20.00 | 25.38 | 29.75 | 34.00 | 39.00 | 41.38 | 46.00 | 52.00 | 61.50 | 63.00 | 76.00 |
| AAA 300 ANSI                 | 9.00  | 10.00 | 11.62 | 13.25 | 15.62 | 21.00 | 26.38 | 31.12 | 35.50 | 40.50 | 43.50 | 47.64 | 53.62 | 63.24 | 64.50 | 76.00 |
| AAAA Conexión Ranurada       | 8.50  | 9.00  | 11.00 | 12.50 | 15.00 | 20.00 | 25.38 | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     |
| B Diámetro                   | 5.62  | 6.62  | 8.00  | 9.12  | 11.50 | 15.75 | 20.00 | 23.62 | 28.00 | 32.75 | 35.50 | 41.50 | 45.00 | 53.16 | 56.00 | 66.00 |
| C Máximo                     | 5.50  | 6.50  | 7.56  | 8.19  | 10.62 | 13.38 | 16.00 | 17.12 | 20.88 | 24.19 | 25.00 | 39.06 | 41.90 | 43.93 | 54.60 | 61.50 |
| CC Max. Conexión Ranurada    | 4.75  | 5.75  | 6.88  | 7.25  | 9.31  | 12.12 | 14.62 | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     |
| D Roscada                    | 3.25  | 4.75  | 5.50  | 6.25  | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     |
| DD 150 ANSI                  | 4.00  | 4.75  | 5.50  | 6.00  | 7.50  | 10.00 | 12.69 | 14.88 | 17.00 | 19.50 | 20.81 | —     | —     | 30.75 | —     | —     |
| DDD 300 ANSI                 | 4.25  | 5.00  | 5.88  | 6.38  | 7.88  | 10.50 | 13.25 | 15.56 | 17.75 | 20.25 | 21.62 | —     | —     | 31.62 | —     | —     |
| DDDD Conexión Ranurada       | —     | 4.75  | —     | 6.00  | 7.50  | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     |
| E                            | 1.12  | 1.50  | 1.69  | 2.06  | 3.19  | 4.31  | 5.31  | 9.25  | 10.75 | 12.62 | 15.50 | 12.95 | 15.00 | 17.75 | 21.31 | 24.56 |
| EE Conexión Ranurada         | 2.00  | 2.50  | 2.88  | 3.12  | 4.25  | 6.00  | 7.56  | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     |
| F 150 ANSI                   | 2.50  | 3.00  | 3.50  | 3.75  | 4.50  | 5.50  | 6.75  | 8.00  | 9.50  | 10.50 | 11.75 | 15.00 | 16.50 | 19.25 | 22.50 | 25.60 |
| FF 300 ANSI                  | 3.06  | 3.25  | 3.75  | 4.13  | 5.00  | 6.25  | 7.50  | 8.75  | 10.25 | 11.50 | 12.75 | 15.00 | 16.50 | 19.25 | 24.00 | 25.60 |
| G Roscada                    | 1.88  | 3.25  | 4.00  | 4.50  | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     |
| GG 150 ANSI                  | 4.00  | 3.25  | 4.00  | 4.00  | 5.00  | 6.00  | 8.00  | 8.62  | 13.75 | 14.88 | 15.69 | —     | —     | 22.06 | —     | —     |
| GGG 300 ANSI                 | 4.25  | 3.50  | 4.31  | 4.38  | 5.31  | 6.50  | 8.50  | 9.31  | 14.50 | 15.62 | 16.50 | —     | —     | 22.90 | —     | —     |
| GGGG Conexión Ranurada       | —     | 3.25  | —     | 4.25  | 5.00  | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     |
| H Conexiones en Cuerpo NPT   | .375  | .375  | .50   | .50   | .75   | .75   | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 2     | 2     |
| J Tapón central en Tapa NPT  | .25   | .50   | .50   | .50   | .75   | .75   | 1     | 1     | 1.25  | 1.5   | 2     | 1.5   | 1.5   | 1.5   | 2     | 2     |
| K Conexiones en Tapa NPT     | .375  | .375  | .50   | .50   | .75   | .75   | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 2     | 2     |
| Recorrido del Vástago        | 0.4   | 0.6   | 0.7   | 0.8   | 1.1   | 1.7   | 2.3   | 2.8   | 3.4   | 4.0   | 4.5   | 5.1   | 5.63  | 6.75  | 7.5   | 8.5   |
| Peso aproximado en Lbs.      | 15    | 35    | 50    | 70    | 140   | 285   | 500   | 780   | 1165  | 1600  | 2265  | 2982  | 3900  | 6200  | 7703  | 11720 |
| X Sistema de Pilotos         | 11    | 13    | 14    | 15    | 17    | 29    | 31    | 33    | 36    | 40    | 40    | 43    | 47    | 68    | 79    | 85    |
| Y Sistema de Pilotos         | 9     | 9     | 10    | 11    | 12    | 20    | 22    | 24    | 26    | 29    | 30    | 32    | 34    | 39    | 40    | 45    |
| Z Sistema de Pilotos         | 9     | 9     | 10    | 11    | 12    | 20    | 22    | 24    | 26    | 29    | 30    | 32    | 34    | 39    | 42    | 47    |

Nota: Los dos orificios superiores de la brida en la válvula de 36 son roscados a 1 1/2"- 6 UNC

## Modelo 640-01 (Usa la Válvula Básica Modelo 100-20)

### Rangos de Presión (Presión Máxima Recomendada – psi)

| Cuerpo de la Válvula y Tapa |                 | Clase por Presión |           |           |
|-----------------------------|-----------------|-------------------|-----------|-----------|
|                             |                 | Bridada           |           |           |
| Grado                       | Material        | Estándares ANSI * | 150 Clase | 300 Clase |
| ASTM A536                   | Hierro Dúctil   | B16.42            | 250       | 400       |
| ASTM A216-WCB               | Acero al Carbón | B16.5             | 285       | 400       |
| ASTM B62                    | Bronce          | B16.24            | 225       | 400       |

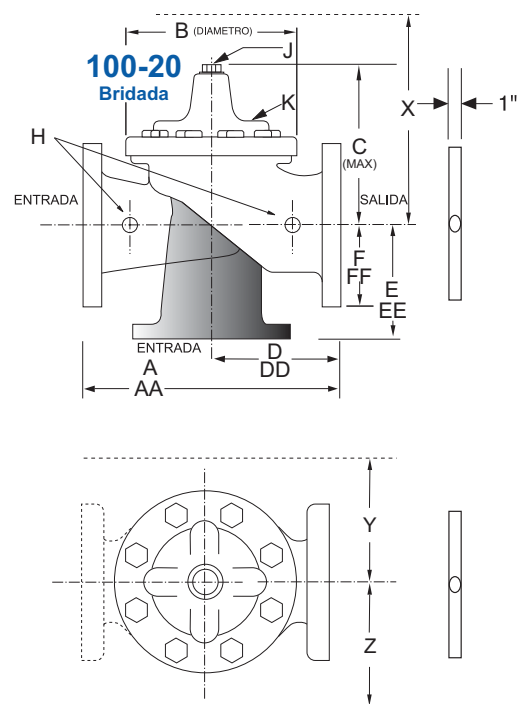
Nota: \* Los estándares ANSI son solo p/dimensiones de brida.  
Válvulas bridadas disponibles con cara no perforadas  
**Valvula para mayor presión estan disponible; con fábrica para detalles**

### Materiales

| Componente                                       | Materiales Estándar Combinados                     |                 |          |
|--|--|-----------------|----------|
| Cuerpo y Tapa                                    | Hierro Dúctil                                      | Acero al Carbón | Bronce   |
| Medidas disponibles                              | 3" - 48"   | 3" - 16"        | 3" - 16" |
| Disco retenedor, y Rondanas de Diafragma         | Hierro Fundido                                     | Acero al Carbón | Bronce   |
| Internos: Guía del Disco, Asiento y Buje de Tapa | Bronce es Estándar<br>Acero Inoxidable es Opcional |                 |          |
| Disco  | Hule Buna-N®                                       |                 |          |
| Diafragma  | Hule Buna-N® con Nylon Reforzado                   |                 |          |
| Vástago, Tuerca, Resorte                         | Acero Inoxidable                                   |                 |          |

Para material opcional no listado, consultar a Fabrica.  
Cla-Val fabrica válvulas en más de 50 aleaciones diferentes.

### Dimensiones (En pulgadas)



### Dimensiones de Modelo 640-01 (en pulgadas)

| Medida de Válvula (en pulgadas) | 3     | 4     | 6     | 8     | 10    | 12    | 14    | 16    | 18    | 20    | 24    | 30    | 36    | 42    | 48    |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| A 150 ANSI                      | 10.25 | 13.88 | 17.75 | 21.38 | 26.00 | 30.00 | 34.25 | 35.00 | 42.12 | 48.00 | 48.00 | 63.25 | 65.00 | 76.00 | 94.50 |
| AA 300 ANSI                     | 11.00 | 14.50 | 18.62 | 22.38 | 27.38 | 31.50 | 35.75 | 36.62 | 43.63 | 49.62 | 49.75 | 63.75 | 67.00 | 76.00 | 94.50 |
| B Diámetro                      | 6.62  | 9.12  | 11.50 | 15.75 | 20.00 | 23.62 | 27.47 | 28.00 | 35.44 | 35.44 | 35.44 | 53.19 | 56.00 | 66.00 | 66.00 |
| C Máximo                        | 7.00  | 8.62  | 11.62 | 15.00 | 17.88 | 21.00 | 20.88 | 25.75 | 25.00 | 31.00 | 31.00 | 43.94 | 54.60 | 61.50 | 61.50 |
| D 150 ANSI                      | —     | 6.94  | 8.88  | 10.69 | CF*   | CF*   | CF*   | CF*   | CF*   | CF*   | CF*   | —     | —     | —     | —     |
| DD 300 ANSI                     | —     | 7.25  | 9.38  | 11.19 | CF*   | CF*   | CF*   | CF*   | CF*   | CF*   | CF*   | —     | —     | —     | —     |
| E 150 ANSI                      | —     | 5.50  | 6.75  | 7.25  | CF*   | CF*   | CF*   | CF*   | CF*   | CF*   | CF*   | —     | —     | —     | —     |
| EE 300 ANSI                     | —     | 5.81  | 7.25  | 7.75  | CF*   | CF*   | CF*   | CF*   | CF*   | CF*   | CF*   | —     | —     | —     | —     |
| F 150 ANSI                      | 3.75  | 4.50  | 5.50  | 6.75  | 8.00  | 9.50  | 11.00 | 11.75 | 15.88 | 14.56 | 17.00 | 19.88 | 25.50 | 28.00 | 31.50 |
| FF 300 ANSI                     | 4.12  | 5.00  | 6.25  | 7.50  | 8.75  | 10.25 | 11.50 | 12.75 | 15.88 | 16.06 | 19.00 | 22.00 | 27.50 | 28.00 | 31.50 |
| H Conexiones en Cuerpo NPT      | .375  | .50   | .75   | .75   | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 2     | 2     | 2     |
| J Tapón central en Tapa NPT     | .50   | .50   | .75   | .75   | 1     | 1     | 1.25  | 1.25  | 2     | 2     | 2     | 2     | 2     | 2     | 2     |
| K Conexiones en Tapa NPT        | .375  | .50   | .75   | .75   | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 2     | 2     | 2     |
| Recorrido del Vástago           | 0.6   | 0.8   | 1.1   | 1.7   | 2.3   | 2.8   | 3.4   | 3.4   | 3.4   | 4.5   | 4.5   | 6.5   | 7.5   | 8.5   | 8.5   |
| Peso aproximado en Lbs.         | 45    | 85    | 195   | 330   | 625   | 900   | 1250  | 1380  | 1500  | 2551  | 2733  | 6500  | 8545  | 12450 | 13100 |
| X Sistema de Pilotos            | 13    | 15    | 27    | 30    | 33    | 36    | 36    | 41    | 40    | 46    | 55    | 68    | 79    | 85    | 86    |
| Y Sistema de Pilotos            | 10    | 11    | 18    | 20    | 22    | 24    | 26    | 26    | 30    | 30    | 30    | 39    | 40    | 45    | 47    |
| Z Sistema de Pilotos            | 10    | 11    | 18    | 20    | 22    | 24    | 26    | 26    | 30    | 30    | 30    | 39    | 42    | 47    | 49    |

\*Consulte a fabrica

Nota: Los dos orificios superiores de la brida en la válvula de 36 y de 48 son roscados a 1 1/2"- 6 UNC



| 40-01<br>Selección<br>de Válvula  | 100-01 Tipo: Globo (G), Ángulo (A), Conexiones: Roscada (T), Ranurada (GR), Bridada (F) Indican Diametros Disponibles |    |    |              |             |              |             |          |           |           |      |      |       |       |       |       |       |       |       |
|---|---|----|----|--------------|-------------|--------------|-------------|----------|-----------|-----------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|   | Pulgadas  | 1  | 1½ | 1½           | 2           | 2½           | 3           | 4        | 6         | 8         | 10   | 12   | 14    | 16    | 18    | 20    | 24    | 30    | 36    |
|   | mm  | 25 | 32 | 40           | 50          | 65           | 80          | 100      | 150       | 200       | 250  | 300  | 350   | 400   | 450   | 500   | 600   | 750   | 900   |
| Válvula<br>Básica<br>100-01   | Tipo  |    |    | G, A         | G, A        | G, A         | G, A        | G, A     | G, A      | G, A      | G, A | G, A | G, A  | G, A  | G     | G     | G, A  | G     | G     |
|   | Conexione   |    |    | T, F,<br>Gr* | T, F,<br>Gr | T, F,<br>Gr* | T, F,<br>Gr | F,<br>Gr | F,<br>Gr* | F,<br>Gr* | F    | F    | F     | F     | F     | F     | F     | F     | F     |
| Flujo<br>Sugerido<br>(gpm))   | Máximo  |    |    | 125          | 210         | 300          | 460         | 800      | 1800      | 3100      | 4900 | 7000 | 8400  | 11000 | 14000 | 17000 | 25000 | 42000 | 50000 |
|   | Max.<br>Intermitente  |    |    | 160          | 260         | 370          | 580         | 990      | 2250      | 3900      | 6150 | 8720 | 10540 | 13700 | 17500 | 21700 | 31300 | 48000 | 62500 |
|   | Minimo  |    |    | 1            | 1           | 2            | 2           | 4        | 10        | 15        | 35   | 50   | 70    | 95    | 120   | 150   | 275   | 450   | 650   |
| Flujo<br>Sugerido<br>(Litros/Seg)   | Máximo  |    |    | 8            | 13          | 19           | 29          | 50       | 113       | 195       | 309  | 442  | 530   | 694   | 883   | 1073  | 1577  | 2650  | 3150  |
|   | Max.<br>Intermitente  |    |    | 10           | 16          | 23           | 37          | 62       | 142       | 246       | 387  | 549  | 664   | 863   | 1104  | 1369  | 1972  | 3028  | 3940  |
|   | Minimo  |    |    | .03          | .06         | .09          | 0.13        | 0.25     | 0.63      | 0.95      | 2.2  | 3.2  | 4.4   | 6.0   | 7.6   | 9.5   | 17.4  | 28.4  | 41.0  |
| La Serie 100-01 es una Hytrol de puerto completo para valvulas basicas. Para Flujos Bajos Consulte a Fabrica. *Ranurada Solamente |   |    |    |              |             |              |             |          |           |           |      |      |       |       |       |       |       |       |       |

| 640-01<br>Selección<br>de Válvula  | 100-20 Tipo: Globo (G), Ángulo (A), Conexiones: Bridada (F) Indican Diametros Disponibles |     |      |      |      |      |      |      |      |       |       |       |       |       |       |       |
|--|---|-----|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|  | Pulgadas  | 3   | 4    | 6    | 8    | 10   | 12   | 14   | 16   | 18    | 20    | 24    | 30    | 36    | 42    | 48    |
|  | mm  | 80  | 100  | 150  | 200  | 250  | 300  | 350  | 400  | 450   | 500   | 600   | 750   | 900   | 1000  | 1200  |
| Válvula<br>Básica<br>100-20  | Tipo  | G   | G, A | G, A | G, A | G    | G    | G    | G    | G     | G     | G     | G     | G     | G     | G     |
|  | Conexione   | F   | F    | F    | F    | F    | F    | F    | F    | F     | F     | F     | F     | F     | F     | F     |
| Flujo<br>Sugerido<br>(gpm)   | Máximo  | 260 | 580  | 1025 | 2300 | 4100 | 6400 | 9230 | 9230 | 16500 | 16500 | 16500 | 28000 | 33500 | 33500 | 33500 |
|  | Minimo  | 1   | 2    | 4    | 10   | 15   | 35   | 50   | 50   | 95    | 95    | 95    | 275   | 450   | 450   | 450   |
| Flujo<br>Sugerido<br>(Litros/Seg)  | Máximo  | 16  | 37   | 65   | 145  | 258  | 403  | 581  | 581  | 1040  | 1040  | 1040  | 1764  | 2115  | 2115  | 2115  |
|  | Minimo  | .06 | .13  | .25  | .63  | .95  | 2.2  | 3.2  | 3.2  | 6.0   | 6.0   | 6.0   | 17.4  | 28.4  | 41.0  | 41.0  |
| La Serie 100-20 es la version de puerto reducido para valvulas basicas 100-01. Para Flujos Bajos Consulte a Fabrica. |   |     |      |      |      |      |      |      |      |       |       |       |       |       |       |       |

Muchos factores deben ser considerados para el dimensionamiento de válvulas reductoras de presión incluyendo presión de entrada presión de salida y el rango de flujo. Para preguntas de dimensionamiento o análisis de cavitacion, consulte a Cla-Val con los detalles del sistema.

## Especificaciones del Sistema de Pilotos

### Rangos de Ajuste

El flujo bajo es igual a un-cuarto del flujo máximo

### Rango de Temperatura

Agua: Hasta 180° F (82.14°C)

### Materiales

#### Materiales Estándares del Sistema de Pilotos

Control de Pilote: Bronce ASTM B62

Internos: Acero Inoxidable Tipo 303

Plato de Orificio: Acero Inoxidable Tipo 303

Hules: Buna-N® Hule Sintético

#### Materiales Opcionales del Sistema de Pilotos

El sistema de pilotos esta disponible opcional en materiales de Acero Inoxidable o monel.

Nota: El ensamble del plato de orificio (X52E) debe estar unido a la brida de salida de la válvula principal, sin embargo, un mejor control es obtenido si lo instala de 1 a 5 diámetros de tubería después de la brida de descarga. La conexión para el detector hacia el plato de orificio debe estar localizada en la tubería en dirección al ensamble del plato de orificio. El ensamble del plato de orificio no debe conectarse directamente a una válvula de mariposa. Revise la hoja de datos E-X52E para los rangos de ajuste en diámetros del orificio.

## Cuando Está Ordenando, Favor de Especificar

1. No. De Catalogo 40-01 o 640-01
2. Tamaño de Válvula
3. Tipo Globo o Ángulo
4. Clase de Presión
5. Roscada o Bridada
6. Material en Internos
7. Rango de Ajuste/Diámetro del Orificio
8. Opciones Deseadas
9. Cuando se Instale Verticalmente



**CLA-VAL**

PO Box 1325 Newport Beach CA 92659-0325  
Telefono: 949-722-4800 • Fax: 949-548-5441

#### CLA-VAL CANADA

4687 Christie Drive  
Beamsville, Ontario  
Canada L0R 1B4  
Telefono: 905-563-4963  
Fax: 905-563-4040

©Copyright Cla-Val 2011 Impreso en USA  
Especificaciones sujetas a cambio sin aviso

#### CLA-VAL EUROPA

Chemin des Mesanges 1  
CH-1032 Romanel/  
Lausanne, Switzerland  
Telefono: 41-21-643-15-55  
Fax: 41-21-643-15-50

www.cla-val.com

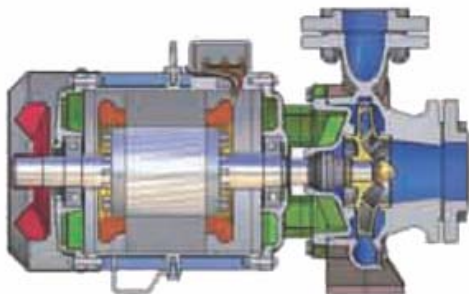
Representada Por:

## ANEXO 15

## COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO

| TIPO<br>Trifase | POTENCIA<br>NOMINAL |      | POT.<br>ABS. | In Ampere<br>Trifase | Q = CAUDAL               |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------------|---------------------|------|--------------|----------------------|--------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                 | P2                  |      |              |                      | m³/h                     | 24   | 30   | 36   | 42   | 48   | 60   | 72   | 78   | 84   | 96   | 108  | 120  | 144  | 180  | 210  | 240  |
|                 | HP                  | kW   | P1           | l/min                |                          | 400  | 500  | 600  | 700  | 800  | 1000 | 1200 | 1300 | 1400 | 1600 | 1800 | 2000 | 2400 | 3000 | 3500 | 4000 |
| 400V-50Hz       | HP                  | kW   | kW           | 3 x 400 V            | Altura manométrica total |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| SN 50-125 B     | 4                   | 3    | 4,8          | 7,5                  | H (m)                    | 24,5 | 23,5 | 22   | 20,5 | 19   | 15   | 10   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| SN 50-125 A     | 5,5                 | 4    | 5,7          | 8,8                  |                          | 29,2 | 28,3 | 27,1 | 25,6 | 24   | 20,5 | 15,5 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| SN 50-160 B     | 7,5                 | 5,5  | 8,2          | 13,2                 |                          | 36,8 | 36   | 35   | 34   | 32   | 28,5 | 23,5 | 20,5 |      |      |      |      |      |      |      |      |
| SN 50-160 A     | 10                  | 7,5  | 9,5          | 15                   |                          | 39,8 | 39   | 38   | 37   | 35   | 31,5 | 26,5 | 23   |      |      |      |      |      |      |      |      |
| SN 50-200 C     | 12,5                | 9,2  | 11,5         | 18,5                 |                          | 48,7 | 48,2 | 47,5 | 46,5 | 45   | 42   | 37   | 33   |      |      |      |      |      |      |      |      |
| SN 50-200 B     | 15                  | 11   | 13           | 21                   |                          | 52,7 | 52,2 | 51,2 | 50,2 | 49,2 | 46   | 41   | 38   |      |      |      |      |      |      |      |      |
| SN 50-200 A     | 20                  | 15   | 17,5         | 28                   |                          | 64,5 | 63,5 | 62,5 | 61,5 | 60,5 | 58   | 54,5 | 51,5 |      |      |      |      |      |      |      |      |
| SN 50-250 C     | 20                  | 15   | 20           | 32                   |                          |      | 71   | 70   | 68,5 | 67   | 63   | 58   | 54   |      |      |      |      |      |      |      |      |
| SN 50-250 B     | 25                  | 18,5 | 23           | 36,5                 |                          |      | 80,5 | 79,5 | 78,5 | 77   | 73   | 68   | 65   |      |      |      |      |      |      |      |      |
| SN 50-250 A     | 30                  | 22,5 | 27           | 43                   |                          |      | 89,7 | 89   | 88   | 86,5 | 83   | 79   | 71   |      |      |      |      |      |      |      |      |
| SN 65-125 B     | 7,5                 | 5,5  | 8,2          | 13,2                 |                          |      |      |      | 24,5 | 24,2 | 23,5 | 22,5 | 21,5 | 20,5 | 18,5 | 16   | 12,5 |      |      |      |      |
| SN 65-125 A     | 10                  | 7,5  | 10           | 16                   |                          |      |      |      | 28,5 | 28,2 | 27,5 | 26,5 | 25,8 | 25   | 23   | 21   | 18   |      |      |      |      |
| SN 65-160 C     | 12,5                | 9,2  | 11,5         | 18,5                 |                          |      |      |      | 32   | 31,7 | 31,2 | 30,2 | 29,7 | 29   | 27   | 25   | 22   | 16   |      |      |      |
| SN 65-160 B     | 15                  | 11   | 13           | 21                   |                          |      |      |      | 35,5 | 35   | 34,5 | 33,5 | 33   | 32,5 | 31   | 29   | 26,5 | 20   |      |      |      |
| SN 65-160 A     | 20                  | 15   | 16           | 26                   |                          |      |      |      | 40   | 39,5 | 38,5 | 37,5 | 37   | 36,5 | 35,5 | 33,5 | 31   | 26   |      |      |      |
| SN 65-200 C     | 20                  | 15   | 20           | 32                   |                          |      |      |      |      | 48,5 | 47,5 | 46,2 | 45,5 | 44,5 | 42,5 | 40,5 | 38   | 31   |      |      |      |
| SN 65-200 B     | 25                  | 18,5 | 23           | 36,5                 |                          |      |      |      |      | 52,5 | 51,5 | 50,5 | 50   | 49   | 47   | 45   | 43   | 36   |      |      |      |
| SN 65-200 A     | 30                  | 22,5 | 27           | 43                   |                          |      |      |      |      | 60,5 | 59,5 | 58,5 | 58   | 57,5 | 56   | 54,5 | 52,5 | 45,5 |      |      |      |
| SN 65-250 B     | 40                  | 30   | 33,5         | 54                   |                          |      |      |      |      |      | 78,5 | 76   | 74,5 | 73   | 69,3 | 65   | 60   | 48,5 |      |      |      |
| SN 65-250 A     | 50                  | 37   | 39           | 62                   |                          |      |      |      |      |      | 88,5 | 86,5 | 85,5 | 84   | 80,5 | 76,5 | 72   | 60,5 |      |      |      |
| SN 80-160 D     | 15                  | 11   | 12,5         | 20,5                 |                          |      |      |      |      |      |      | 27,4 | 27,3 | 27,1 | 26,4 | 25,2 | 24   | 21   | 15,5 |      |      |
| SN 80-160 C     | 20                  | 15   | 15           | 24                   |                          |      |      |      |      |      |      | 30,5 | 30,4 | 30,2 | 29,6 | 28,7 | 27,5 | 24,8 | 19,6 |      |      |
| SN 80-160 B     | 25                  | 18,5 | 18,5         | 30                   |                          |      |      |      |      |      |      | 34,9 | 34,8 | 34,6 | 34,1 | 33,4 | 32,5 | 30,2 | 25,3 | 20   |      |
| SN 80-160 A     | 30                  | 22,5 | 22           | 35                   |                          |      |      |      |      |      |      | 38,5 | 38,2 | 38   | 37,7 | 37   | 36,3 | 34,2 | 30   | 25   |      |
| SN 80-200 B     | 40                  | 30   | 33,5         | 54                   |                          |      |      |      |      |      |      | 54   | 53,8 | 53,6 | 53,1 | 52,2 | 51,3 | 49,2 | 44,2 | 38   |      |
| SN 80-200 A     | 50                  | 37   | 39           | 62                   |                          |      |      |      |      |      |      | 58,7 | 58,5 | 58,3 | 57,8 | 57,2 | 56,3 | 54,2 | 50   | 45   |      |

Tolerancias según norma ISO 9906 nivel 2



## ANEXO 16

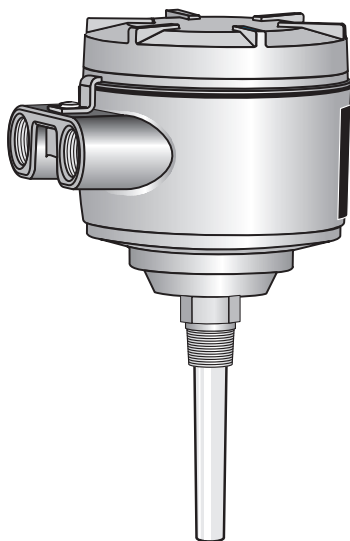
**MILLTRONICS**

# **POINTEK CLS 200**

## **CAPACITANCIA • LÍQUIDOS/SÓLIDOS**

Manual de Instrucciones

Marzo 2001



POINTEK CLS 200

## Indicaciones de Seguridad

Este manual contiene indicaciones importantes y condiciones para una utilización sin peligro alguno para el usuario, el personal, el producto y los equipos conectados a éste. Por motivos de claridad expositiva en los textos de indicación y de precaución se destaca el nivel de precaución necesario para cada intervención.

### Personal cualificado

El producto descrito en este manual debe funcionar únicamente de la manera como lo especifica el fabricante. En éste manual se describe cómo utilizar el equipo, cómo ponerlo en servicio, cómo manejarlo y cómo instalarlo. Sólo el personal cualificado está autorizado a intervenir en este equipo para el montaje y la puesta en servicio. El personal cualificado deberá instalar y utilizar el equipo observando las indicaciones y procedimientos de seguridad.

**Advertencia:** El funcionamiento correcto y seguro del equipo presupone un transporte, un almacenamiento, una instalación y una programación conformes a las prácticas de la buena ingeniería, así como un manejo y un mantenimiento rigurosos.

**Nota:** Este producto debe ser utilizado únicamente de la manera que se especifica en este manual.

**Copyright Siemens Milltronics  
Process Instruments Inc. 2000.  
Todos los derechos reservados.**

### Condiciones de utilización

Este documento está disponible en versión impresa o electrónica. Recomendamos a nuestros usuarios obtengan copias impresas de la documentación o consulten las versiones digitales diseñadas y comprobadas por Siemens Milltronics Process Instruments Inc. En ningún caso será responsable Siemens Milltronics Process Instruments Inc. de reproducciones totales o parciales de la documentación, ya sea de versiones impresas o electrónicas.

Nosotros hacemos todo lo necesario para garantizar la conformidad del contenido de este manual con el equipo proporcionado. Sin embargo, estas informaciones quedan sujetas a cambios. SMPI no asume responsabilidad alguna por omisiones o diferencias. Examinamos y corregimos el contenido de este manual regularmente y nos esforzamos en proporcionar publicaciones cada vez más completas. No dude en contactarnos si tiene preguntas o comentarios.

Las especificaciones están sujetas a cambios.

MILLTRONICS® es una marca registrada de Siemens Milltronics Process Instruments Inc.

### Para más información contacte:

Technical Publications

Siemens Milltronics Process Instruments Inc.

1954 Technology Drive, P.O. Box 4225

Peterborough, Ontario, Canadá, K9J 7B1

Email: [techpubs@milltronics.com](mailto:techpubs@milltronics.com)

Para más informaciones acerca de los manuales SMPI visite nuestra página web:

**[www.milltronics.com](http://www.milltronics.com)**

# ACERCA DE POINTEK CLS 200

---

**El Pointek CLS 200 debe utilizarse según las instrucciones proporcionadas en este manual.**

La sonda capacitiva Pointek CLS 200 proporciona una salida de la alarma de nivel alto / bajo. La sonda puede ajustarse de tal manera que reacciones a un aumento de la capacitancia : al entrar en contacto material con el electrodo de detección o antes de que se produzca el contacto. En este caso, puede activarse una alarma de nivel alto. Si se desea una alarma de nivel bajo, puede programarse el sistema para detectar la falta de material, y activar la alarma de baja.

## **Salidas de Pointek CLS 200**

- ✓ Un contacto tipo 'C' (SPDT) (opción normal abierto o cerrado)
- ✓ Una salida transistor, opción normal abierto o cerrado, aislada, sin polaridad

## **Funciones de Pointek CLS 200**

- ✓ Conexión tipo NPT, BSP, y tri-clamp según 3A  
(también pueden obtenerse otros tipos de conexión - consúltenos)
- ✓ Diseño resistente a los materiales corrosivos, las piezas en contacto con el material son fabricadas en Kynar® y acero inoxidable 316
- ✓ Longitud máxima : 35m (115 pies)
- ✓ Alarma proceso programable : nivel, temporización y función de autoprotección
- ✓ Extensiones rígidas para las versiones estándar y sanitaria
- ✓ Longitud ajustable de la versión extendida

## **Aplicaciones de Pointek CLS 200**

- ✓ Líquidos, lechadas, polvos, gránulos y sólidos
- ✓ Industria alimenticia y farmacéutica
- ✓ Industria química y petroquímica
- ✓ Alta presión y temperatura

# ESPECIFICACIONES

---

Suministro eléctrico: » 12 - 250 V CA/cc 50/60 Hz, máximo 2 VA / 2 W

Ambiente:

- » ubicación: » en interior / exterior
- » altitud: » máximo 2000 m
- » temperatura ambiente: » -40 a +85 °C (-40 a +185 °F)
- » humedad relativa: » para aplicaciones en exterior  
(Tipo 4X / NEMA 4X / IP65)
- » categoría de instalación: » II
- » nivel de polución: » 4

Proceso:

- » constante dieléctrica( $\epsilon_r$ ): » mínimo 1.5
- » temperatura: » -40 a +125° C (-40 a +257° F)
- » presión: » versiones estándar y extendida:  
0 hasta 25 bar / 365 p.s.i. / 2500 kPa
- » versión de cable  
0 hasta 10 bar / 150 p.s.i. / 1000 kPa

Salida de alarma:

- » relés: » 1 contacto tipo 'C' (SPDT), 8 A, 250 VCA ó  
5 A, 30 V cc, no inductivo
- » transistor: » 250 V CA / 300 V cc, máximo 100 mA
- » temporización: » alarma 'activada / desactivada' con posibilidad  
de selección, ajustable de 1 a 60 segundos
- » histéresis: » 2 mm (0.08")
- » repetibilidad: » 2 mm (0.08")
- » función de autoprotección

Electrónica/Caja:

- » conexión (cables): » bloque de terminales amovible, máx. 2.5 mm<sup>2</sup>
- » construcción: » aluminio cubierto (epoxi) con empaquetadura  
» aislador térmico (opcional), acero inoxidable 316
- » protección de ingreso: » Tipo 4X / NEMA 4X / IP65
- » entrada eléctrica: » 2 x 1/2" NPT, entrada de cable



Sonda:

|           | longitud máxima    | montaje*   | extensión                  | máxima resistencia | sonda  |
|-----------|--------------------|--|----------------------------|--------------------|--------|
| Estándar  | 5.5 m<br>(18 pies) | 3/4" NPT, 1" BSP,<br>1 1/2" BSP,<br>acero inoxidable 316 | acero<br>inoxidable<br>316 | n / a              | Kynar® |
| Sanitaria | 5.5 m<br>(18 pies) | 1", 1 1/2" y 2", 3A,<br>Tri-clamp                        | acero<br>inoxidable<br>316 | n / a              | Kynar® |
| de Cable  | 35 m<br>(115 pies) | 3/4" NPT, 1" BSP,<br>1 1/2" BSP,<br>acero inoxidable 316 | Kynar® **                  | 180 kg<br>(400 lb) | Kynar® |

Aprobaciones: » CE, CSA NRTL/C FM, CENELEC, 3A, ver la placa de identificación  
Kynar® es una marca registrada de ELF Atochem

\* otras posibilidades de conexión - consúltenos.

\*\* para más detalles sobre la compatibilidad Kynar® / sustancias químicas, contacte su distribuidor.

## ANEXO 17

## Sinopsis del producto

### 1.1 Introducción al PLC S7-1200

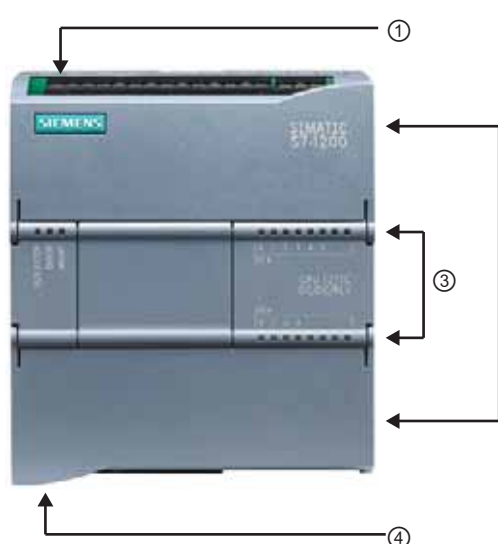
El controlador lógico programable (PLC) S7-1200 ofrece la flexibilidad y capacidad de controlar una gran variedad de dispositivos para las distintas tareas de automatización. Gracias a su diseño compacto, configuración flexible y amplio juego de instrucciones, el S7-1200 es idóneo para controlar una gran variedad de aplicaciones.

La CPU incorpora un microprocesador, una fuente de alimentación integrada, así como circuitos de entrada y salida en una carcasa compacta, conformando así un potente PLC. Una vez cargado el programa en la CPU, ésta contiene la lógica necesaria para vigilar y controlar los dispositivos de la aplicación. La CPU vigila las entradas y cambia el estado de las salidas según la lógica del programa de usuario, que puede incluir lógica booleana, instrucciones de conteo y temporización, funciones matemáticas complejas, así como comunicación con otros dispositivos inteligentes.

Numerosas funciones de seguridad protegen el acceso tanto a la CPU como al programa de control:

- Toda CPU ofrece protección por contraseña que permite configurar el acceso a sus funciones.
- Es posible utilizar la "protección de know-how" para ocultar el código de un bloque específico. Encontrará más detalles en el capítulo "Principios básicos de programación" (Página 99).

La CPU incorpora un puerto PROFINET para la comunicación en una red PROFINET. Los módulos de comunicación están disponibles para la comunicación en redes RS485 o RS232.



- ① Conector de corriente
- ② Conectores extraíbles para el cableado de usuario (detrás de las tapas)
- ② Ranura para Memory Card (debajo de la tapa superior)
- ③ LEDs de estado para las E/S integradas
- ④ Conector PROFINET (en el lado inferior de la CPU)

Los diferentes modelos de CPUs ofrecen una gran variedad de funciones y prestaciones que permiten crear soluciones efectivas destinadas a numerosas aplicaciones. Para más información sobre una CPU en particular, consulte los datos técnicos (Página 319).

| Función  | CPU 1211C  | CPU 1212C   | CPU 1214C   |
|--|--|---|---|
| Dimensiones físicas (mm)   | 90 x 100 x 75  |   | 110 x 100 x 75  |
| Memoria de usuario <ul style="list-style-type: none"> <li>Memoria de trabajo</li> <li>Memoria de carga</li> <li>Memoria remanente</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>25 KB</li> <li>1 MB</li> <li>2 KB</li> </ul>        |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>50 KB</li> <li>2 MB</li> <li>2 KB</li> </ul>                               |
| E/S integradas locales <ul style="list-style-type: none"> <li>Digitales</li> <li>Analógicas</li> </ul>                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>6 entradas/4 salidas</li> <li>2 entradas</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>8 entradas/6 salidas</li> <li>2 entradas</li> </ul>                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>14 entradas/10 salidas</li> <li>2 entradas</li> </ul>                      |
| Tamaño de la memoria imagen de proceso   | 1024 bytes para entradas (I) y 1024 bytes para salidas (Q)                                 |   |   |
| Área de marcas (M)   | 4096 bytes   |   | 8192 bytes  |
| Ampliación con módulos de señales  | Ninguna  | 2   | 8   |
| Signal Board   | 1  |   |   |
| Módulos de comunicación  | 3 (ampliación en el lado izquierdo)  |   |   |
| Contadores rápidos <ul style="list-style-type: none"> <li>Fase simple</li> <li>Fase en cuadratura</li> </ul>                                 | 3 <ul style="list-style-type: none"> <li>3 a 100 kHz</li> <li>3 a 80 kHz</li> </ul>        | 4 <ul style="list-style-type: none"> <li>3 a 100 kHz<br/>1 a 30 kHz</li> <li>3 a 80 kHz<br/>1 a 20 kHz</li> </ul> | 6 <ul style="list-style-type: none"> <li>3 a 100 kHz<br/>3 a 30 kHz</li> <li>3 a 80 kHz<br/>3 a 20 kHz</li> </ul> |
| Salidas de impulsos  | 2  |   |   |
| Memory Card  | SIMATIC Memory Card (opcional)   |   |   |
| Tiempo de respaldo del reloj de tiempo real  | Típico: 10 días / Mínimo: 6 días a 40 °C   |   |   |
| PROFINET   | 1 puerto de comunicación Ethernet  |   |   |
| Velocidad de ejecución de funciones matemáticas con números reales   | 18 µs/instrucción  |   |   |
| Velocidad de ejecución booleana  | 0,1 µs/instrucción   |   |   |

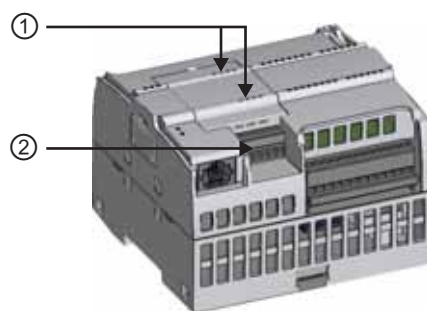
La gama S7-1200 ofrece una gran variedad de módulos de señales y Signal Boards que permiten ampliar las prestaciones de la CPU. También es posible instalar módulos de comunicación adicionales para soportar otros protocolos de comunicación. Para más información sobre un módulo en particular, consulte los datos técnicos (Página 319).

| Módulo   |           | Sólo entradas                                  | Sólo salidas                                 | Entradas y salidas  |
|--|-----------|--|--|---|
| Módulo de señales (SM)   | Digital   | 8 entradas DC                                  | 8 salidas DC<br>8 salidas de relé            | 8 entradas DC/8 salidas DC<br>8 entradas DC/8 salidas de relé     |
|  |           | 16 entradas DC                                 | 16 salidas DC<br>16 salidas de relé          | 16 entradas DC/16 salidas DC<br>16 entradas DC/16 salidas de relé |
|  | Analógico | 4 entradas analógicas<br>8 entradas analógicas | 2 salidas analógicas<br>4 salidas analógicas | 4 entradas analógicas/2 salidas analógicas                        |
| Signal Board (SB)  | Digital   | -  | -  | 2 entradas DC/2 salidas DC  |
|  | Analógico | -  | 1 salida analógica                           | -   |
| Módulo de comunicación (CM)  |           |  |  |   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• RS485</li> <li>• RS232</li> </ul> |           |  |  |   |

## 1.2 Signal Boards

Una Signal Board (SB) permite agregar E/S a la CPU. Es posible agregar una SB con E/S digitales o analógicas. Una SB se conecta en el frente de la CPU.

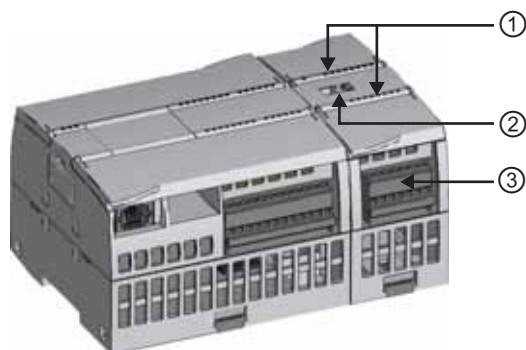
- SB con 4 E/S digitales (2 entradas DC y 2 salidas DC)
- SB con 1 entrada analógica



- ① LEDs de estado en la SB
- ② Conector extraíble para el cableado de usuario

## 1.3 Módulos de señales

Los módulos de señales se pueden utilizar para agregar funciones a la CPU. Los módulos de señales se conectan a la derecha de la CPU.

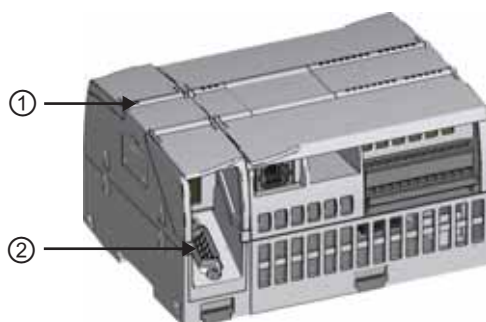


- ① LEDs de estado para las E/S del módulo de señales
- ② Conector de bus
- ③ Conector extraíble para el cableado de usuario

## 1.4 Módulos de comunicación

La gama S7-1200 provee módulos de comunicación (CMs) que ofrecen funciones adicionales para el sistema. Hay dos módulos de comunicación, a saber: RS232 y RS485.

- La CPU soporta como máximo 3 módulos de comunicación
- Todo CM se conecta en lado izquierdo de la CPU (o en lado izquierdo de otro CM)



- ① LEDs de estado del módulo de comunicación
- ② Conector de comunicación

## ANEXO 18

# SIEMENS

## SIMATIC

### S7-1200

## Módulo de señales de termopar SM 1231

Información del producto

### Información de producto

#### Nuevo módulo de señales analógicas de termopar disponible para el S7-1200

La familia de los S7-1200 cuenta ahora con un nuevo módulo de señales analógicas de termopar SM 1231. La referencia de este módulo de señales se indica a continuación.

| Módulo de señales         | Referencia          |
|---------------------------|---------------------|
| SM 1231 AI4 x TC x 16 bit | 6ES7 231-5QD30-0XB0 |

El módulo de señales analógicas de termopar SM 1231 (TC) mide el valor de la tensión conectada a las entradas del módulo. Este valor puede ser tanto la temperatura de un termopar como voltios.

- Si se trata de voltios, el valor máximo del rango nominal serán 27648 decimales.
- Si se trata de temperatura, el valor se expresará en grados multiplicados por diez (p. ej. 25,3 grados se expresarán como 253 decimales).

La presente información de producto incluye información detallada sobre las características y los datos técnicos de este módulo de señales. Para más información sobre la familia de productos SIMATIC S7-1200, consulte el manual del controlador programable SIMATIC S7-1200.

#### Soporte adicional

Para cualquier cuestión técnica o para obtener información sobre cursos de formación relacionados con estos productos, o bien para pedir productos, contacte con el representante de Siemens más próximo.



## Módulo de entradas analógicas de termopar S7-1200 SM 1231

| Modelo  | SM 1231 AI4 x TC x16 bit   |
|---|--|
| Referencia (MLFB)   | 6ES7 231-5QD30-0XB0  |
| Dimensiones An. x Al. x P. (mm)   | 45 x 100 x 75  |
| Peso  | 180 g  |
| Pérdidas  | 1,5 W  |
| Consumo (bus SM)  | 80 mA  |
| Consumo (24 V DC) <sup>1</sup>  | 40 mA  |
| Número de entradas  | 4  |
| Tipo  | TC aislado y mV  |
| Rango   | Véase Tabla de selección de termopares                           |
| Rango nominal   | Véase Tabla de selección de termopares                           |
| Rango de saturación superior/inferior   | Véase Tabla de selección de termopares                           |
| Rebase por exceso/defecto (palabra de datos)  | Véase Tabla de selección de termopares                           |
| Resolución<br>Temperatura<br>Tensión  | 0,1° C/0,1° F<br>15 bits más signo                               |
| Tensión máx. de ensayo  | ± 35 V   |
| Supresión de ruido  | 85 dB para el filtro seleccionado (10 Hz, 50 Hz, 60 Hz o 400 Hz) |
| Supresión en modo común   | > 120dB a 120 V AC   |
| Impedancia  | ≥ 10 MΩ  |
| Aislamiento<br>Campo a circuito lógico<br>Campo a 24 V DC<br>24 V DC a circuito lógico<br>Canal a canal | 500 V AC<br>500 V AC<br>500 V AC<br>ninguno                      |
| Exactitud (25°C / 0 a 55°C)   | Véase Tabla de selección de termopares                           |
| Repetitibilidad   | ±0,05% FS  |
| Principio de medición   | Integrador   |
| Tiempo de actualización del módulo  | Ver tabla de selección de filtros                                |
| Error de unión fría   | ±1,5°C   |
| Longitud de cable (metros)  | 100 metros hasta el sensor (máx.)                                |
| Resistencia del cable   | 100 Ω máx.   |
| <b>Diagnóstico</b>  |  |
| Rebase por exceso/defecto <sup>2</sup>  | Sí   |
| Rotura de hilo <sup>3</sup>   | Sí   |
| Baja tensión 24 V DC <sup>2</sup>   | Sí   |

<sup>1</sup> 20,4 a 28,8 V DC (clase 2, potencia limitada o alimentación de sensor por PLC)

<sup>2</sup> La información de las alarmas de diagnóstico de baja tensión y de rebase por exceso/por defecto será indicada en los valores analógicos aunque las alarmas estén deshabilitadas en la configuración del módulo.

<sup>3</sup> Si la alarma de rotura de hilo está deshabilitada y se presenta una condición de rotura de hilo en la línea del sensor, el módulo puede señalar valores aleatorios.

## Principios básicos de los termopares

Los termopares se forman por la unión de dos metales diferentes que se conectan eléctricamente produciendo una tensión. La tensión generada es proporcional a la temperatura de la unión. Se trata de una tensión pequeña; un microvoltio puede representar varios grados. La medición de temperatura con termopares consiste en medir la tensión de un termopar, compensar las uniones adicionales y linealizar posteriormente el resultado.

Cuando un termopar se conecta al módulo de señales de termopar SM 1231, los dos hilos de metales distintos se unen al conector de señales del módulo. El punto en el que los dos hilos diferentes se unen el uno con el otro constituye el termopar del sensor.

Dos termopares adicionales se forman donde los dos hilos diferentes se unen al conector de señales. La temperatura del conector genera una tensión que se suma a la del termopar del sensor. Si no se corrige esta tensión, la temperatura indicada será diferente de la temperatura del sensor.

La compensación de unión fría se utiliza para compensar el termopar del conector. Las tablas de termopares se basan en una temperatura de referencia que, por lo general, es de cero grados centígrados. La compensación de unión fría compensa el conector a cero grados centígrados. La compensación restablece la tensión sumada por los termopares del conector. La temperatura del módulo se mide internamente y se convierte luego a un valor a sumar a la conversión del sensor. La conversión del sensor corregida se linealiza entonces utilizando las tablas de termopares.

Para optimizar el funcionamiento de la compensación de unión fría es necesario colocar el módulo de termopar en un entorno térmicamente estable. Una variación lenta (inferior a 0,1° C/minuto) del módulo a temperatura ambiente se compensa correctamente dentro de las especificaciones del módulo. Si hay corriente de aire a través del módulo también se producirán errores de compensación de unión fría.

Si se requiere una mejor compensación del error de unión fría, se puede utilizar un bloque de terminales isotérmico. El módulo de termopar permite utilizar un bloque de terminales con una referencia de 0° C o 50° C.

### Tabla de selección de termopares del SM 1231

Los rangos y la exactitud de los diferentes tipos de termopares soportados por el módulo de señales de termopar SM 1231 se indican en la tabla siguiente.

| Tipo de termopar | Rango de saturación mínimo | Rango nominal límite inferior | Rango nominal límite superior | Rango de saturación máximo | Exactitud rango <sup>1,2</sup> normal @ 25°C | Exactitud rango <sup>1,2</sup> normal 0°C a 55°C |
|------------------|----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------|--|--|
| J                | -210,0°C                   | -150,0°C                      | 1200,0°C                      | 1450,0°C                   | ±0,3°C                                       | ±0,6°C   |
| K                | -270,0°C                   | -200,0°C                      | 1372,0°C                      | 1622,0°C                   | ±0,4°C                                       | ±1,0°C   |
| T                | -270,0°C                   | -200,0°C                      | 400,0°C                       | 540,0°C                    | ±0,5°C                                       | ±1,0°C   |
| E                | -270,0°C                   | -200,0°C                      | 1000,0°C                      | 1200,0°C                   | ±0,3°C                                       | ±0,6°C   |
| R & S            | -50,0°C                    | +100,0°C                      | 1768,0°C                      | 2019,0°C                   | ±1,0°C                                       | ±2,5°C   |
| N                | -270,0°C                   | -200,0°C                      | 1300,0°C                      | 1550,0°C                   | ±1,6°C                                       | ±1,0°C   |
| C                | 0,0°C                      | 100,0°C                       | 2315,0°C                      | 2500,0°C                   | ±0,7°C                                       | ±2,7°C   |
| TXK/XK(L)        | -200,0°C                   | -150,0°C                      | 800,0°C                       | 1050,0°C                   | ±0,6°C                                       | ±1,2°C   |
| Tensión          | -32512<br>-94,0715mV       | -27648<br>-80mV               | 27648<br>80mV                 | 32511<br>94,071mV          | ±0.05%                                       | ±0.1%  |

<sup>1</sup> El error de la unión fría interna es de ±1,5°C en todos los rangos. Esto debe añadirse al error en esta tabla. Para cumplir estas especificaciones, el módulo requiere como mínimo 30 minutos de calentamiento.

<sup>2</sup> En presencia de radiofrecuencia radiada de 970 MHz a 990 MHz, la exactitud puede verse reducida.

Tabla de selección de filtros

| Supresión de frecuencias (Hz) | Tiempo de integración (ms) | Tiempo de actualización 4 canales del módulo (segundos) |
|-------------------------------|----------------------------|---|
| 10                            | 100                        | 1.205   |
| 50                            | 20                         | 0.245   |
| 60                            | 16.67                      | 0.205   |
| 400 <sup>1</sup>              | 10                         | 0.125   |

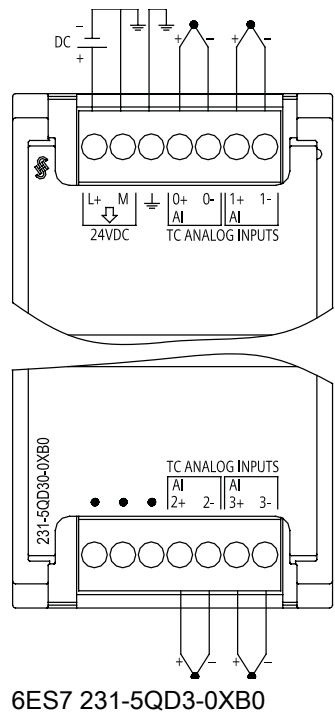
<sup>1</sup> Para mantener la resolución y exactitud del módulo con el filtro de 400 Hz, el tiempo de integración es de 10 ms. Esta selección también suprime perturbaciones de 100 Hz y 200 Hz.

Para medir termopares se recomienda utilizar un tiempo de integración de 100 ms. El uso de tiempos de integración inferiores aumentará el error de repetibilidad de las lecturas de temperatura.

Nota

Después de aplicar tensión al módulo, éste lleva a cabo una calibración interna del convertidor analógico a digital. Durante este tiempo el módulo reporta un valor de 32767 en cada canal hasta que haya información válida disponible en el canal respectivo. Es posible que el programa del PLC deba autorizar este tiempo de inicialización.

Diagrama de cableado del SM 1231 AI4 x TC



Siemens AG  
Industry Sector  
Postfach 48 48  
90026 NÜRNBERG

Módulo de señales de termopar SM 1231  
A5E02886092-01, 06/2010

## ANEXO 19

# SIEMENS

## SIMATIC

### S7-1200

## S7-1200 SM 1232 4 salidas analógicas, actualización de firmware V2.0.3

### Información del producto

#### Descripción

Esta actualización de firmware corrige un problema que afecta a los canales 2 y 3. El LED de error y el LED DIAG para cada uno de dichos canales continúan parpadeando incluso una vez solventado el error del canal. Los LED de error y DIAG se pueden apagar desconectando y conectando (POWER OFF-POWER ON) el módulo. La función de salida analógica en sí permanece inalterada y continúa funcionando correctamente.

Para los canales 0 y 1 el LED de error de canal se enciende y apaga correctamente.

| Módulo                               | Referencia          |
|--------------------------------------|---------------------|
| S7-1200 SM 1232 4 salidas analógicas | 6ES7 232-4HD32-0XB0 |

## Acción requerida por parte del usuario

|  |
|--|
| <b>ATENCIÓN</b>  |
| <b>No utilice la utilidad de formateo de Windows o cualquier otra utilidad de formateo para reformatear la tarjeta de memoria.</b><br>Si se vuelve a formatear una Siemens Memory Card con la utilidad de formateo de Microsoft Windows, entonces la tarjeta de memoria ya no podrá utilizarse en una CPU S7-1200. |

Para descargar la actualización de firmware en la Memory Card, siga los siguientes pasos:

1. Inserte una Memory Card SIMATIC vacía que no esté protegida contra escritura en el lector/grabador de tarjetas SD conectado al PC. (Si la tarjeta está protegida contra escritura, deslice el interruptor de protección fuera de la posición de bloqueo).

Es posible reutilizar una SIMATIC Memory Card que contenga un programa de usuario u otra actualización de firmware, pero es necesario borrar algunos archivos de la Memory Card.

Para reutilizar una Memory Card, **es necesario** borrar el archivo "S7\_JOB.S7S" y todas las carpetas de registro de datos o cualquier otra carpeta (como "SIMATIC.S7S" o "FWUPDATE.S7S") antes de descargar la actualización del firmware. Utilice Windows Explorer para visualizar el contenido de la Memory Card y borrar el archivo y las carpetas.

|  |
|--|
| <b>ATENCIÓN</b>  |
| <b>NO borrar los archivos ocultos "__LOG__" y "crdinfo.bin" de la Memory Card.</b><br>Los archivos "__LOG__" y "crdinfo.bin" son necesarios para la Memory Card. Si borra estos archivos, no podrá utilizar la Memory Card con la CPU. |

2. Seleccione el archivo autoextraíble (.exe) para actualizar el firmware que corresponde al módulo utilizado y descárguelo en su equipo. Haga doble clic en el archivo de actualización, indique la ruta de destino del archivo de tal modo que sea el directorio raíz de la SIMATIC Memory Card e inicie el proceso de extracción. Una vez finalizada la extracción, el directorio raíz (carpeta) de la Memory Card contendrá un directorio "FWUPDATE.S7S" y el archivo "S7\_JOB.S7S".
3. Extraiga la tarjeta de forma segura del lector/grabador de tarjetas.

Para instalar la actualización de firmware, proceda del siguiente modo:

### ADVERTENCIA

**Antes de instalar la actualización de firmware, compruebe que la CPU no esté ejecutando activamente ningún proceso.**

Al instalar la actualización de firmware, la CPU pasará a STOP, lo que puede afectar la operación de un proceso online o de una máquina. El manejo inesperado de un proceso o una máquina podría provocar lesiones o incluso la muerte de personas y/o daños materiales.

Antes de insertar la tarjeta de memoria, asegúrese de que la CPU esté offline y en un estado seguro.

1. Inserte la tarjeta de memoria en la CPU. Si la CPU está en RUN, pasará al estado operativo STOP. El LED de mantenimiento (MAINT) parpadea para indicar que es necesario revisar la Memory Card.
2. Apague y vuelva a encender la alimentación de la CPU para iniciar la actualización de firmware. Otros métodos alternativos de rearrancar la CPU consisten en hacer una transición de STOP a RUN o inicializar la memoria (MRES) desde STEP 7.

#### **Nota**

Para finalizar la actualización del firmware del módulo, asegúrese de que la alimentación externa de 24 DC del módulo permanece conectada.

Después de rearrancar la CPU, inicia la actualización del firmware. El LED RUN/STOP parpadea de forma alterna en verde y amarillo, indicando que la actualización se está copiando. Cuando el LED RUN/STOP se enciende (en amarillo permanente) y el LED MAINT parpadea, el proceso de copia ha finalizado. A continuación se debe extraer la tarjeta de memoria.

3. Después de extraer la tarjeta de memoria, re arranque la CPU (restableciendo la alimentación o bien aplicando otro método) para cargar el nuevo firmware.

El programa de usuario y la configuración hardware no se ven afectados por la actualización de firmware. Al poner en marcha la CPU, ésta adopta el estado de arranque configurado. (Si el modo de arranque de la CPU estaba configurado como "Modo de re arranque en caliente antes de POWER OFF", la CPU se encontrará en el estado operativo STOP porque el último estado de la CPU era STOP).

#### **Nota**

##### **Actualizar varios módulos conectados a la CPU**

Si su configuración hardware contiene varios módulos que corresponden a un solo archivo de actualización de firmware en la Memory Card, la CPU aplica las actualizaciones a todos los módulos aplicables (CM, SM, SB) en el orden de configuración, es decir, en orden ascendente según la posición del módulo en la configuración de dispositivos de STEP 7.

Si ha descargado varias actualizaciones de firmware en la Memory Card para varios módulos, la CPU aplica las actualizaciones en el orden en que se han descargado en la Memory Card.

## ANEXO 20

**LISTADO TOTAL DE LAS SEÑALES DE ENTRADA**

| item | Entrada | Señal                               | Tipo | Fuente                       | Ubicación del instrumento                  |
|------|---------|-------------------------------------|------|------------------------------|--|
| 1    | 0+      | Temperatura aire de entrada al TG 1 | AI   | Transmisor de temperatura 1  | A la entrada del compresor del TG1         |
|      | 0-      |                                     |      |                              |  |
| 2    | 1+      | Temperatura aire ambiente al TG 1   | AI   | Transmisor de temperatura 2  | A la entrada del intercambiador de calor 1 |
|      | 1-      |                                     |      |                              |  |
| 3    | 2+      | Temperatura agua fria al TG 1       | AI   | Transmisor de temperatura 3  | Parte inferior de TK1                      |
|      | 2-      |                                     |      |                              |  |
| 4    | 3+      | Temperatura aire de entrada al TG 2 | AI   | Transmisor de temperatura 4  | A la entrada del compresor del TG2         |
|      | 3-      |                                     |      |                              |  |
| 5    | 4+      | Temperatura aire ambiente al TG 2   | AI   | Transmisor de temperatura 5  | A la entrada del intercambiador de calor 2 |
|      | 4-      |                                     |      |                              |  |
| 6    | 5+      | Temperatura agua fria al TG 2       | AI   | Transmisor de temperatura 6  | Parte inferior de TK2                      |
|      | 5-      |                                     |      |                              |  |
| 7    | 6+      | Temperatura aire de entrada al TG 3 | AI   | Transmisor de temperatura 7  | A la entrada del compresor del TG3         |
|      | 6-      |                                     |      |                              |  |
| 8    | 7+      | Temperatura aire ambiente al TG 3   | AI   | Transmisor de temperatura 8  | A la entrada del intercambiador de calor 3 |
|      | 7-      |                                     |      |                              |  |
| 9    | 8+      | Temperatura agua fria al TG 3       | AI   | Transmisor de temperatura 9  | Parte inferior de TK3                      |
|      | 8-      |                                     |      |                              |  |
| 10   | 9+      | Temperatura aire de entrada al TG 4 | AI   | Transmisor de temperatura 10 | A la entrada del compresor del TG4         |
|      | 9-      |                                     |      |                              |  |
| 11   | 10+     | Temperatura aire ambiente al TG 4   | AI   | Transmisor de temperatura 11 | A la entrada del intercambiador de calor 4 |
|      | 10-     |                                     |      |                              |  |
| 12   | 11+     | Temperatura agua fria al TG 4       | AI   | Transmisor de temperatura 12 | Parte inferior de TK4                      |
|      | 11-     |                                     |      |                              |  |
| 13   | 12+     | Temperatura aire de entrada al TG 5 | AI   | Transmisor de temperatura 13 | A la entrada del compresor del TG5         |
|      | 12-     |                                     |      |                              |  |
| 14   | 13+     | Temperatura aire ambiente al TG 5   | AI   | Transmisor de temperatura 14 | A la entrada del intercambiador de calor 5 |
|      | 13-     |                                     |      |                              |  |
| 15   | 14+     | Temperatura agua fria al TG 5       | AI   | Transmisor de temperatura 15 | Parte inferior de TK5                      |
|      | 14-     |                                     |      |                              |  |
| 16   | DI.0    | Nivel de agua tanque 1              | DI   | Interruptor capacitivo TK1   | Parte superior de TK1                      |
| 17   | DI.1    | Nivel de agua tanque 2              | DI   | Interruptor capacitivo TK2   | Parte superior de TK2                      |
| 18   | DI.2    | Nivel de agua tanque 3              | DI   | Interruptor capacitivo TK3   | Parte superior de TK3                      |
| 19   | DI.3    | Nivel de agua tanque 4              | DI   | Interruptor capacitivo TK4   | Parte superior de TK4                      |
| 20   | DI.4    | Nivel de agua tanque 5              | DI   | Interruptor capacitivo TK5   | Parte superior de TK5                      |



| LISTADO TOTAL DE LAS SEÑALES DE ENTRADA |          |                               |      |                       |
|---|----------|-------------------------------|------|-----------------------|
| Item                                    | Salida   | Señal                         | Tipo | Ubicación de actuador |
| 1                                       | 0M<br>0  | Apertura valvula de control 1 | AQ   | Valvula de control 1  |
| 2                                       | 1M<br>1M | Apertura valvula de control 2 | AQ   | Valvula de control 2  |
| 3                                       | 2M<br>2  | Apertura valvula de control 3 | AQ   | Valvula de control 3  |
| 4                                       | 3M<br>3M | Apertura valvula de control 4 | AQ   | Valvula de control 4  |
| 5                                       | 4M<br>4M | Apertura valvula de control 5 | AQ   | Valvula de control 5  |
| 6                                       | DQ.0     | Encendido bomba 1             | DQ   | Tablero alimentacion  |
| 7                                       | DQ.1     | Encendido bomba 2             | DQ   | Tablero alimentacion  |
| 8                                       | DQ.2     | Encendido bomba 3             | DQ   | Tablero alimentacion  |
| 9                                       | DQ.3     | Encendido bomba 4             | DQ   | Tablero alimentacion  |
| 10                                      | DQ.4     | Encendido bomba 5             | DQ   | Tablero alimentacion  |

## ANEXO 21

## Yaren - Metal Halide HSI

HIT 250W E40

9039766



### Range Features

- Extra slim profile
- Options for ta 30°C or ta 35°C
- SHP dimmable version
- Emergency module available on request
- Auxiliary lamps



### DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

|  |                           |
|--|---------------------------|
| <b>Certificaciones</b>                               | CE F-mark                 |
| <b>Color</b>   | Dark grey                 |
| <b>Código EAN</b>                                    | 0664608397667             |
| <b>Carcasa</b>                                       | Sheet Steel               |
| <b>Clasificación IK</b>                              | IK07                      |
| <b>Clasificación IP</b>                              | IP20                      |
| <b>Lámparas</b>                                      | 1 x 250W HIT E40          |
| <b>LOR (%)</b>                                       | 76                        |
| <b>Montaje</b>                                       | Ceiling surface U-bracket |
| <b>Número de orden</b>                               | 9039766                   |
| <b>Tensión (V)</b>                                   | 230                       |
| <b>Lámpara incluida</b>                              | INTEGRATED                |
| <b>Compatible con bombillas de clase energética:</b> | A++ A+ A B C              |

### TABLA DE DATOS

#### Informacion General

|   |  |
|---|--|
| <b>Certificaciones</b>                      | CE F-mark  |
| <b>Disponibilidad de sistema de control</b> | Included   |
| <b>Montaje del sistema de control</b>       | Integral   |
| <b>Tipo de sistema de control</b>           | Conventional   |
| <b>Código EAN</b>                           | 0664608397667  |
| <b>Entorno</b>                              | Interior   |
| <b>Aplicación general</b>                   | Logistics and Industry   |
| <b>Carcasa</b>                              | Sheet Steel  |
| <b>Montaje</b>                              | Ceiling surface U-bracket  |
| <b>Notas</b>                                | Dimmable & emergency versions available on request. Please ask your local representative. Options for ta 30°C or ta 35°C |
| <b>Número de orden</b>                      | 9039766  |

# Yaren - Metal Halide HSI

HIT 250W E40

9039766

|  |  |
|--|--|
| <b>Descripción larga</b>                             | Extra slim profile<br>Options for ta 30°C or ta 35°C<br>SHP dimmable version<br>Emergency module available on request<br>Auxiliary lamps |
| <b>Nombre del producto</b>                           | HIT 250W E40   |
| <b>Aplicación específica</b>                         | Sport Facilities Storage / Warehouses Workshops  |
| <b>Cantidad del paquete a la venta</b>               | 1  |
| <b>FI del número electrónico</b>                     | 4470414  |
| <b>Compatible con bombillas de clase energética:</b> | A++ A+ A B C   |

## Datos físicos

|   |                          |
|---|--------------------------|
| <b>Color</b>                                      | Dark grey                |
| <b>Acabado del difusor</b>                        | Clear                    |
| <b>Material difusor</b>                           | Glass                    |
| <b>Altura (mm)</b>                                | 125                      |
| <b>Clasificación IK</b>                           | IK07                     |
| <b>Clasificación IP</b>                           | IP20                     |
| <b>Lámpara incluida</b>                           | Yes                      |
| <b>Longitud (mm)</b>                              | 650                      |
| <b>Acabado del reflector</b>                      | High luminous efficiency |
| <b>Material del reflector</b>                     | Aluminium                |
| <b>Peso (kg)</b>                                  | 10.10                    |
| <b>Anchura (mm)</b>                               | 247                      |
| <b>Lámpara incluida</b>                           | INTEGRATED               |
| <b>Outer package dimensions (L x W x H) (cm)</b>  | 66.00 x 36.00 x 14.00    |
| <b>Single package dimensions (L x W x H) (cm)</b> | 66.00 x 36.00 x 14.00    |

## Datos óptico

|  |             |
|--|-------------|
| <b>Tipo de distribución</b>            | Direct      |
| <b>LOR (%)</b>                         | 76          |
| <b>Material del controlador óptico</b> | Glass cover |

## Datos eléctricos

|  |                  |
|--|------------------|
| <b>Protección eléctrica</b>                  | Class I          |
| <b>Prueba de cable luminiscente</b>          | 960°C            |
| <b>Lámparas</b>                              | 1 x 250W HIT E40 |
| <b>Regulación de corte en inicio de fase</b> | No               |
| <b>Número de cabezales</b>                   | 1                |
| <b>Clasificación Ta (°C)</b>                 | 35°C             |
| <b>Número total de lámparas</b>              | 1                |

## ANEXO 22

## THHN/THWN-2 CT

### Aplicaciones:

Se usa en instalaciones eléctricas de fuerza, control y alumbrados en interiores o exteriores de tipo residencial, comercial e industrial. Pueden instalarse en bandejas portacables (CT), ductos y canalizaciones, en sitios secos y mojados.



### Construcción:

Conductor de cobre (blando, sólido, cableado concéntricamente o unidireccional combinado UDC), aislado con PVC para 90 °C, con chaqueta de nailon.

### Características:

- Tensión máxima de operación: 600 V.
- Temperatura máxima de operación: 90 °C, en ambiente seco o mojado.
- Resistente a la humedad, al calor, abrasión, elementos químicos, aceites y gasolina.
- Retardante a la llama.
- Colores disponibles: negro, blanco, rojo, azul, verde y amarillo (calibres 14 a 8 AWG). Negro (calibres 6 AWG y mayores).

### Normas:

- NTC 1332
- UL 83

**Nota:** De acuerdo con el RETIE, los cables de diámetro mayor o igual a 12 AWG son aptos para instalación en bandeja portacables.

| Calibre     | N° hilos | Espesor de aislamiento |      | Espesor chaqueta de nailon |      | Diámetro exterior |       | Masa total |       | Capacidad de corriente |      |
|-------------|----------|------------------------|------|----------------------------|------|-------------------|-------|------------|-------|------------------------|------|
| AWG / kcmil | N°       | mm                     | mils | mm                         | mils | mm                | in    | kg/km      | lb/ft | A*                     | A**  |
| 14          | 1        | 0,38                   | 15   | 0,1                        | 4    | 2,69              | 0,106 | 23,3       | 15,6  | 25                     | 35   |
| 12          | 1        | 0,38                   | 15   | 0,1                        | 4    | 3,11              | 0,123 | 35,1       | 23,6  | 30                     | 40   |
| 10          | 1        | 0,51                   | 20   | 0,1                        | 4    | 3,91              | 0,154 | 55,9       | 37,5  | 40                     | 55   |
| 14          | 7        | 0,38                   | 15   | 0,1                        | 4    | 2,9               | 0,114 | 24,7       | 16,6  | 25                     | 35   |
| 12          | 7        | 0,38                   | 15   | 0,1                        | 4    | 3,38              | 0,133 | 37,2       | 25    | 30                     | 40   |
| 10          | 7        | 0,51                   | 20   | 0,1                        | 4    | 4,26              | 0,168 | 59,2       | 39,8  | 40                     | 55   |
| 8           | 7        | 0,76                   | 30   | 0,13                       | 5    | 5,5               | 0,216 | 96,3       | 64,7  | 55                     | 80   |
| 6           | 7        | 0,76                   | 30   | 0,13                       | 5    | 6,41              | 0,252 | 146,0      | 98,1  | 75                     | 105  |
| 4           | 7        | 1,02                   | 40   | 0,15                       | 6    | 8,18              | 0,322 | 233,8      | 157   | 95                     | 140  |
| 2           | 7        | 1,02                   | 40   | 0,15                       | 6    | 9,65              | 0,380 | 358,0      | 241   | 130                    | 190  |
| 1           | 19***    | 1,27                   | 50   | 0,18                       | 7    | 11,2              | 0,442 | 454,2      | 305   | 150                    | 220  |
| 1/0         | 19***    | 1,27                   | 50   | 0,18                       | 7    | 12,2              | 0,482 | 562,9      | 378   | 170                    | 260  |
| 2/0         | 19***    | 1,27                   | 50   | 0,18                       | 7    | 13,3              | 0,525 | 698,8      | 470   | 195                    | 300  |
| 3/0         | 19***    | 1,27                   | 50   | 0,18                       | 7    | 14,6              | 0,576 | 869,6      | 584   | 225                    | 350  |
| 4/0         | 19***    | 1,27                   | 50   | 0,18                       | 7    | 16,00             | 0,632 | 1083       | 728   | 260                    | 405  |
| 250         | 37       | 1,52                   | 60   | 0,2                        | 8    | 17,8              | 0,700 | 1286       | 864   | 290                    | 455  |
| 300         | 37       | 1,52                   | 60   | 0,2                        | 8    | 19,1              | 0,753 | 1529       | 1027  | 320                    | 500  |
| 350         | 37       | 1,52                   | 60   | 0,2                        | 8    | 20,4              | 0,803 | 1772       | 1191  | 350                    | 570  |
| 400         | 37       | 1,52                   | 60   | 0,2                        | 8    | 21,5              | 0,848 | 2013       | 1352  | 380                    | 615  |
| 500         | 37       | 1,52                   | 60   | 0,2                        | 8    | 23,7              | 0,931 | 2495       | 1676  | 430                    | 700  |
| 600         | 61       | 1,78                   | 70   | 0,23                       | 9    | 26,2              | 1,032 | 3001       | 2017  | 475                    | 780  |
| 750         | 61       | 1,78                   | 70   | 0,23                       | 9    | 28,8              | 1,134 | 3720       | 2500  | 535                    | 850  |
| 1000        | 61       | 1,78                   | 70   | 0,23                       | 9    | 32,6              | 1,283 | 4914       | 3302  | 615                    | 1055 |

\* Capacidad de corriente permitida en conductores aislados para 90 °C; no más de tres conductores que transportan corriente en canalización, cable o tierra (directamente enterrados) con base en una temperatura ambiente de 30 °C.

\*\* Capacidad de corriente al aire.

\*\*\* Cableado concéntrico o UDC para calibres del 1 al 4/0 AWG de 19 hilos.

**Nota:** La información que corresponde al conductor se encuentra en la referencia cable concéntrico de cobre.

## ANEXO 23

**CUADRO DE REGULACION ACOMETIDAS DE MEDIA Y BAJA TENSION**

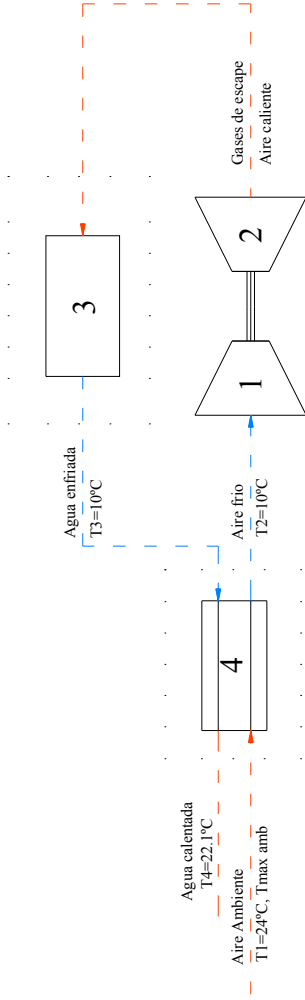
| ITEM | DESCRIPCION                                       | TOTAL DE VOLUMEN (m³) | DETE (m) | ANCHO DE PASADIZO (m) | PROFUNDIDAD (m) | DESEMPEÑO (m³/h) | DESEMPEÑO (m³/h) | CALIBRE DE FALDA (m) | SECCION TRANSVERSAL (m²) | SECCION LONGITUDINAL (m²) | COLUMBIA DE FALDA (m) | CONCENTRACION DE FALDA (m³/m²) | PROFUNDIDAD DE FALDA (m) | 1. MATERIAL CALC. MP | 1. MAX CALC. | VOLUMEN FALDA (m³) | VOLUMEN FALDA (m³) | REGULACION (%) | OTROS COMPLEMENTOS | CONCENTRACION DE FALDA (%) |      |       |    |    |
|------|---|-----------------------|----------|-----------------------|-----------------|------------------|------------------|----------------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------|--------------------------------|--------------------------|----------------------|--------------|--------------------|--------------------|----------------|--------------------|----------------------------|------|-------|----|----|
| 1    | Acortada principal de alimentación a los tableros | 460                   | 30       | 0.03                  | 100%            | 100.00           | 111.11           | 111.11               | 1/0                      | 33.5                      | 107                   | 1/0                            | 2                        | 170                  | 340          | 0.329              | 0.1645             | 139.46         | 174.12             | 8.60E-01                   | 1.49 | 0.334 | OK | OK |
| 2    | Materia de abstracción 1.1                        | 460                   | 70       | 0.07                  | 100%            | 5.70             | 6.33             | 6.33                 | 10                       | 5.25                      | 10.5                  | 10                             | 2                        | 40                   | 80           | 3.34               | 1.6700             | 7.95           | 9.94               | 1.16E+00                   | 2.01 | 0.437 | OK | OK |
| 3    | Materia de abstracción 1.2                        | 460                   | 70       | 0.07                  | 100%            | 5.70             | 6.33             | 6.33                 | 10                       | 5.25                      | 10.5                  | 10                             | 2                        | 40                   | 80           | 3.34               | 1.6700             | 7.95           | 9.94               | 1.16E+00                   | 2.01 | 0.437 | OK | OK |
| 4    | Materia de abstracción 1.3                        | 460                   | 70       | 0.07                  | 100%            | 5.70             | 6.33             | 6.33                 | 10                       | 5.25                      | 10.5                  | 10                             | 2                        | 40                   | 80           | 3.34               | 1.6700             | 7.95           | 9.94               | 1.16E+00                   | 2.01 | 0.437 | OK | OK |
| 5    | Materia de abstracción 1.4                        | 460                   | 70       | 0.07                  | 100%            | 5.70             | 6.33             | 6.33                 | 10                       | 5.25                      | 10.5                  | 10                             | 2                        | 40                   | 80           | 3.34               | 1.6700             | 7.95           | 9.94               | 1.16E+00                   | 2.01 | 0.437 | OK | OK |
| 6    | Materia de abstracción 1.5                        | 460                   | 70       | 0.07                  | 100%            | 5.70             | 6.33             | 6.33                 | 10                       | 5.25                      | 10.5                  | 10                             | 2                        | 40                   | 80           | 3.34               | 1.6700             | 7.95           | 9.94               | 1.16E+00                   | 2.01 | 0.437 | OK | OK |
| 7    | Alimentador 1.1                                   | 208                   | 100      | 0.1                   | 100%            | 0.25             | 0.28             | 0.28                 | 12                       | 3.907                     | 3.907                 | 12                             | 1                        | 30                   | 30           | 5.31               | 5.3100             | 0.77           | 0.96               | 5.31E-01                   | 0.89 | 0.436 | OK | OK |
| 8    | Alimentador 1.2                                   | 208                   | 100      | 0.1                   | 100%            | 0.25             | 0.28             | 0.28                 | 12                       | 3.907                     | 3.907                 | 12                             | 1                        | 30                   | 30           | 5.31               | 5.3100             | 0.77           | 0.96               | 5.31E-01                   | 0.89 | 0.436 | OK | OK |
| 9    | Alimentador 1.3                                   | 208                   | 100      | 0.1                   | 100%            | 0.25             | 0.28             | 0.28                 | 12                       | 3.907                     | 3.907                 | 12                             | 1                        | 30                   | 30           | 5.31               | 5.3100             | 0.77           | 0.96               | 5.31E-01                   | 0.89 | 0.436 | OK | OK |
| 10   | Alimentador 1.4                                   | 208                   | 100      | 0.1                   | 100%            | 0.25             | 0.28             | 0.28                 | 12                       | 3.907                     | 3.907                 | 12                             | 1                        | 30                   | 30           | 5.31               | 5.3100             | 0.77           | 0.96               | 5.31E-01                   | 0.89 | 0.436 | OK | OK |
| 11   | Alimentador 1.5                                   | 208                   | 100      | 0.1                   | 100%            | 0.25             | 0.28             | 0.28                 | 12                       | 3.907                     | 3.907                 | 12                             | 1                        | 30                   | 30           | 5.31               | 5.3100             | 0.77           | 0.96               | 5.31E-01                   | 0.89 | 0.436 | OK | OK |
| 12   | Bomba Centrífuga 1                                | 460                   | 70       | 0.07                  | 100%            | 7.5              | 8.33             | 8.33                 | 10                       | 5.25                      | 10.5                  | 10                             | 1                        | 40                   | 40           | 3.34               | 3.3400             | 10.46          | 13.07              | 3.06E+00                   | 5.29 | 1.151 | OK | OK |
| 13   | Bomba Centrífuga 2                                | 460                   | 70       | 0.07                  | 100%            | 7.5              | 8.33             | 8.33                 | 10                       | 5.25                      | 10.5                  | 10                             | 1                        | 40                   | 40           | 3.34               | 3.3400             | 10.46          | 13.07              | 3.06E+00                   | 5.29 | 1.151 | OK | OK |
| 14   | Bomba Centrífuga 3                                | 460                   | 70       | 0.07                  | 100%            | 7.5              | 8.33             | 8.33                 | 10                       | 5.25                      | 10.5                  | 10                             | 1                        | 40                   | 40           | 3.34               | 3.3400             | 10.46          | 13.07              | 3.06E+00                   | 5.29 | 1.151 | OK | OK |
| 15   | Bomba Centrífuga 4                                | 460                   | 70       | 0.07                  | 100%            | 7.5              | 8.33             | 8.33                 | 10                       | 5.25                      | 10.5                  | 10                             | 1                        | 40                   | 40           | 3.34               | 3.3400             | 10.46          | 13.07              | 3.06E+00                   | 5.29 | 1.151 | OK | OK |
| 16   | Alimentador 1.1                                   | 460                   | 70       | 0.07                  | 100%            | 7.5              | 8.33             | 8.33                 | 10                       | 5.25                      | 10.5                  | 10                             | 1                        | 40                   | 40           | 3.34               | 3.3400             | 10.46          | 13.07              | 3.06E+00                   | 5.29 | 1.151 | OK | OK |
| 17   | Alimentador 1.2                                   | 460                   | 70       | 0.07                  | 100%            | 7.5              | 8.33             | 8.33                 | 10                       | 5.25                      | 10.5                  | 10                             | 1                        | 40                   | 40           | 3.34               | 3.3400             | 10.46          | 13.07              | 3.06E+00                   | 5.29 | 1.151 | OK | OK |
| 18   | Alimentador 1.3                                   | 460                   | 70       | 0.07                  | 100%            | 7.5              | 8.33             | 8.33                 | 10                       | 5.25                      | 10.5                  | 10                             | 1                        | 40                   | 40           | 3.34               | 3.3400             | 10.46          | 13.07              | 3.06E+00                   | 5.29 | 1.151 | OK | OK |
| 19   | Alimentador 1.4                                   | 460                   | 70       | 0.07                  | 100%            | 7.5              | 8.33             | 8.33                 | 10                       | 5.25                      | 10.5                  | 10                             | 1                        | 40                   | 40           | 3.34               | 3.3400             | 10.46          | 13.07              | 3.06E+00                   | 5.29 | 1.151 | OK | OK |
| 20   | Alimentador 1.5                                   | 460                   | 70       | 0.07                  | 100%            | 7.5              | 8.33             | 8.33                 | 10                       | 5.25                      | 10.5                  | 10                             | 1                        | 40                   | 40           | 3.34               | 3.3400             | 10.46          | 13.07              | 3.06E+00                   | 5.29 | 1.151 | OK | OK |
| 21   | Alimentador 1.1                                   | 460                   | 70       | 0.07                  | 100%            | 7.5              | 8.33             | 8.33                 | 10                       | 5.25                      | 10.5                  | 10                             | 1                        | 40                   | 40           | 3.34               | 3.3400             | 10.46          | 13.07              | 3.06E+00                   | 5.29 | 1.151 | OK | OK |
| 22   | Alimentador 1.2                                   | 460                   | 70       | 0.07                  | 100%            | 7.5              | 8.33             | 8.33                 | 10                       | 5.25                      | 10.5                  | 10                             | 1                        | 40                   | 40           | 3.34               | 3.3400             | 10.46          | 13.07              | 3.06E+00                   | 5.29 | 1.151 | OK | OK |
| 23   | Alimentador 1.3                                   | 460                   | 70       | 0.07                  | 100%            | 7.5              | 8.33             | 8.33                 | 10                       | 5.25                      | 10.5                  | 10                             | 1                        | 40                   | 40           | 3.34               | 3.3400             | 10.46          | 13.07              | 3.06E+00                   | 5.29 | 1.151 | OK | OK |
| 24   | Alimentador 1.4                                   | 460                   | 70       | 0.07                  | 100%            | 7.5              | 8.33             | 8.33                 | 10                       | 5.25                      | 10.5                  | 10                             | 1                        | 40                   | 40           | 3.34               | 3.3400             | 10.46          | 13.07              | 3.06E+00                   | 5.29 | 1.151 | OK | OK |
| 25   | Alimentador 1.5                                   | 460                   | 70       | 0.07                  | 100%            | 7.5              | 8.33             | 8.33                 | 10                       | 5.25                      | 10.5                  | 10                             | 1                        | 40                   | 40           | 3.34               | 3.3400             | 10.46          | 13.07              | 3.06E+00                   | 5.29 | 1.151 | OK | OK |
| 26   | Alimentador 1.1                                   | 460                   | 70       | 0.07                  | 100%            | 7.5              | 8.33             | 8.33                 | 10                       | 5.25                      | 10.5                  | 10                             | 1                        | 40                   | 40           | 3.34               | 3.3400             | 10.46          | 13.07              | 3.06E+00                   | 5.29 | 1.151 | OK | OK |
| 27   | Alimentador 1.2                                   | 460                   | 70       | 0.07                  | 100%            | 7.5              | 8.33             | 8.33                 | 10                       | 5.25                      | 10.5                  | 10                             | 1                        | 40                   | 40           | 3.34               | 3.3400             | 10.46          | 13.07              | 3.06E+00                   | 5.29 | 1.151 | OK | OK |
| 28   | Alimentador 1.3                                   | 460                   | 70       | 0.07                  | 100%            | 7.5              | 8.33             | 8.33                 | 10                       | 5.25                      | 10.5                  | 10                             | 1                        | 40                   | 40           | 3.34               | 3.3400             | 10.46          | 13.07              | 3.06E+00                   | 5.29 | 1.151 | OK | OK |
| 29   | Alimentador 1.4                                   | 460                   | 70       | 0.07                  | 100%            | 7.5              | 8.33             | 8.33                 | 10                       | 5.25                      | 10.5                  | 10                             | 1                        | 40                   | 40           | 3.34               | 3.3400             | 10.46          | 13.07              | 3.06E+00                   | 5.29 | 1.151 | OK | OK |
| 30   | Alimentador 1.5                                   | 460                   | 70       | 0.07                  | 100%            | 7.5              | 8.33             | 8.33                 | 10                       | 5.25                      | 10.5                  | 10                             | 1                        | 40                   | 40           | 3.34               | 3.3400             | 10.46          | 13.07              | 3.06E+00                   | 5.29 | 1.151 | OK | OK |
| 31   | Alimentador 1.1                                   | 460                   | 70       | 0.07                  | 100%            | 7.5              | 8.33             | 8.33                 | 10                       | 5.25                      | 10.5                  | 10                             | 1                        | 40                   | 40           | 3.34               | 3.3400             | 10.46          | 13.07              | 3.06E+00                   | 5.29 | 1.151 | OK | OK |
| 32   | Alimentador 1.2                                   | 460                   | 70       | 0.07                  | 100%            | 7.5              | 8.33             | 8.33                 | 10                       | 5.25                      | 10.5                  | 10                             | 1                        | 40                   | 40           | 3.34               | 3.3400             | 10.46          | 13.07              | 3.06E+00                   | 5.29 | 1.151 | OK | OK |
| 33   | Alimentador 1.3                                   | 460                   | 70       | 0.07                  | 100%            | 7.5              | 8.33             | 8.33                 | 10                       | 5.25                      | 10.5                  | 10                             | 1                        | 40                   | 40           | 3.34               | 3.3400             | 10.46          | 13.07              | 3.06E+00                   | 5.29 | 1.151 | OK | OK |
| 34   | Alimentador 1.4                                   | 460                   | 70       | 0.07                  | 100%            | 7.5              | 8.33             | 8.33                 | 10                       | 5.25                      | 10.5                  | 10                             | 1                        | 40                   | 40           | 3.34               | 3.3400             | 10.46          | 13.07              | 3.06E+00                   | 5.29 | 1.151 | OK | OK |
| 35   | Alimentador 1.5                                   | 460                   | 70       | 0.07                  | 100%            | 7.5              | 8.33             | 8.33                 | 10                       | 5.25                      | 10.5                  | 10                             | 1                        | 40                   | 40           | 3.34               | 3.3400             | 10.46          | 13.07              | 3.06E+00                   | 5.29 | 1.151 | OK | OK |
| 36   | Alimentador 1.1                                   | 460                   | 70       | 0.07                  | 100%            | 7.5              | 8.33             | 8.33                 | 10                       | 5.25                      | 10.5                  | 10                             | 1                        | 40                   | 40           | 3.34               | 3.3400             | 10.46          | 13.07              | 3.06E+00                   | 5.29 | 1.151 | OK | OK |
| 37   | Alimentador 1.2                                   | 460                   | 70       | 0.07                  | 100%            | 7.5              | 8.33             | 8.33                 | 10                       | 5.25                      | 10.5                  | 10                             | 1                        | 40                   | 40           | 3.34               | 3.3400             | 10.46          | 13.07              | 3.06E+00                   | 5.29 | 1.151 | OK | OK |
| 38   | Alimentador 1.3                                   | 460                   | 70       | 0.07                  | 100%            | 7.5              | 8.33             | 8.33                 | 10                       | 5.25                      | 10.5                  | 10                             | 1                        | 40                   | 40           | 3.34               | 3.3400             | 10.46          | 13.07              | 3.06E+00                   | 5.29 | 1.151 | OK | OK |
| 39   | Alimentador 1.4                                   | 460                   | 70       | 0.07                  | 100%            | 7.5              | 8.33             | 8.33                 | 10                       | 5.25                      | 10.5                  | 10                             | 1                        | 40                   | 40           | 3.34               | 3.3400             | 10.46          | 13.07              | 3.06E+00                   | 5.29 | 1.151 | OK | OK |
| 40   | Alimentador 1.5                                   | 460                   | 70       | 0.07                  | 100%            | 7.5              | 8.33             | 8.33                 | 10                       | 5.25                      | 10.5                  | 10                             | 1                        | 40                   | 40           | 3.34               | 3.3400             | 10.46          | 13.07              | 3.06E+00                   | 5.29 | 1.151 | OK | OK |
| 41   | Alimentador 1.1                                   | 460                   | 70       | 0.07                  | 100%            | 7.5              | 8.33             | 8.33                 | 10                       | 5.25                      | 10.5                  | 10                             | 1                        | 40                   | 40           | 3.34               | 3.3400             | 10.46          | 13.07              | 3.06E+00                   | 5.29 | 1.151 | OK | OK |
| 42   | Alimentador 1.2                                   | 460                   | 70       | 0.07                  | 100%            | 7.5              | 8.33             | 8.33                 | 10                       | 5.25                      | 10.5                  | 10                             | 1                        | 40                   | 40           | 3.34               | 3.3400             | 10.46          | 13.07              | 3.06E+00                   | 5.29 | 1.151 | OK | OK |
| 43   | Alimentador 1.3                                   | 460                   | 70       | 0.07                  | 100%            | 7.5              | 8.33             | 8.33                 | 10                       | 5.25                      | 10.5                  | 10                             | 1                        | 40                   | 40           | 3.34               | 3.3400             | 10.46          | 13.07              | 3.06E+00                   | 5.29 | 1.151 | OK | OK |
| 44   | Alimentador 1.4                                   | 460                   | 70       | 0.07                  | 100%            | 7.5              | 8.33             | 8.33                 | 10                       | 5.25                      | 10.5                  | 10                             | 1                        | 40                   | 40           | 3.34               | 3.3400             | 10.46          | 13.07              | 3.06E+00                   | 5.29 | 1.151 | OK | OK |
| 45   | Alimentador 1.5                                   | 460                   | 70       | 0.07                  | 100%            | 7.5              | 8.33             | 8.33                 | 10                       | 5.25                      | 10.5                  | 10                             | 1                        | 40                   | 40           | 3.34               | 3.3400             | 10.46          | 13.07              | 3.06E+00                   | 5.29 | 1.151 | OK | OK |
| 46   | Alimentador 1.1                                   | 460                   | 70       | 0.07                  | 100%            | 7.5              | 8.33             | 8.33                 | 10                       | 5.25                      | 10.5                  | 10                             | 1                        | 40                   | 40           | 3.34               | 3.3400             | 10.46          | 13.07              | 3.06E+00                   | 5.29 | 1.151 | OK | OK |
| 47   | Alimentador 1.2                                   | 460                   | 70       | 0.07                  | 100%            | 7.5              | 8.33             | 8.33                 | 10                       | 5.25                      | 10.5                  | 10                             | 1                        | 40                   | 40           | 3.34               | 3.3400             | 10.46          | 13.07              | 3.06E+00                   | 5.29 | 1.151 | OK | OK |
| 48   | Alimentador 1.3                                   | 460                   | 70       | 0.07                  | 100%            | 7.5              | 8.33             | 8.33                 | 10                       | 5.25                      | 10.5                  | 10                             | 1                        | 40                   | 40           | 3.34               | 3.3400             | 10.46          | 13.07              | 3.06E+00                   | 5.29 | 1.151 | OK | OK |
| 49   | Alimentador 1.4                                   | 460                   | 70       | 0.07                  | 100%            | 7.5              | 8.33             | 8.33                 | 10                       | 5.25                      | 10.5                  | 10                             | 1                        | 40                   | 40           | 3.34               | 3.3400             | 10.46          | 13.07              | 3.06E+00                   | 5.29 | 1.151 | OK | OK |
| 50   | Alimentador 1.5                                   | 460                   | 70       | 0.07                  | 100%            | 7.5              | 8.33             | 8.33                 | 10                       | 5.25                      | 10.5                  | 10                             | 1                        | 40                   | 40           | 3.34               | 3.3400             | 10.46          | 13.07              | 3.06E+00                   | 5.29 | 1.151 | OK | OK |
| 51   | Alimentador 1.1                                   | 460                   | 70       | 0.07                  | 100%            | 7.5              | 8.33             | 8.33                 | 10                       | 5.25                      | 10.5                  | 10                             | 1                        | 40                   | 40           | 3.34               | 3.3400             | 10.46          | 13.07              | 3.06E+00                   | 5.29 | 1.151 | OK | OK |
| 52   | Alimentador 1.2                                   | 460                   | 70       | 0.07                  | 100%            | 7.5              | 8.33             | 8.33                 | 10                       | 5.25                      | 10.5                  | 10                             | 1                        | 40                   | 40           | 3.34               | 3.3400             | 10.46          | 13.07              | 3.06E+00                   | 5.29 | 1.151 | OK | OK |
| 53   | Alimentador 1.3                                   | 460                   | 70       | 0.07                  | 100%            | 7.5              | 8.33             | 8.33                 | 10                       | 5.25                      | 10.5                  | 10                             | 1                        | 40                   | 40           | 3.34               | 3.3400             | 10.46          | 13.07              | 3.06E+00                   | 5.29 | 1.151 | OK | OK |
| 54   | Alimentador 1.4                                   | 460                   | 70       | 0.07                  | 100%            | 7.5              | 8.33             | 8.33                 | 10                       | 5.25                      | 10.5                  | 10                             | 1                        | 40                   | 40           | 3.34               | 3.3400             | 10.46          | 13.07              | 3.06E+00                   | 5.29 | 1.151 | OK | OK |
| 55   | Alimentador 1.5                                   | 460                   | 70       | 0.07                  | 100%            | 7.5              | 8.33             | 8.33                 | 10                       | 5.25                      | 10.5                  | 10                             | 1                        | 40                   | 40           | 3.34               | 3.3400             | 10.46          | 13.07              | 3.06E+00                   | 5.29 | 1.151 | OK | OK |
| 56   | Alimentador 1.1                                   | 460                   | 70       | 0.07                  | 100%            | 7.5              | 8.33             | 8.33                 | 10                       | 5.25                      | 10.5                  | 10                             | 1                        | 40                   | 40           | 3.34               | 3.3400             | 10.46          | 13.07              |                            |      |       |    |    |



## **LISTADO DE PLANOS**

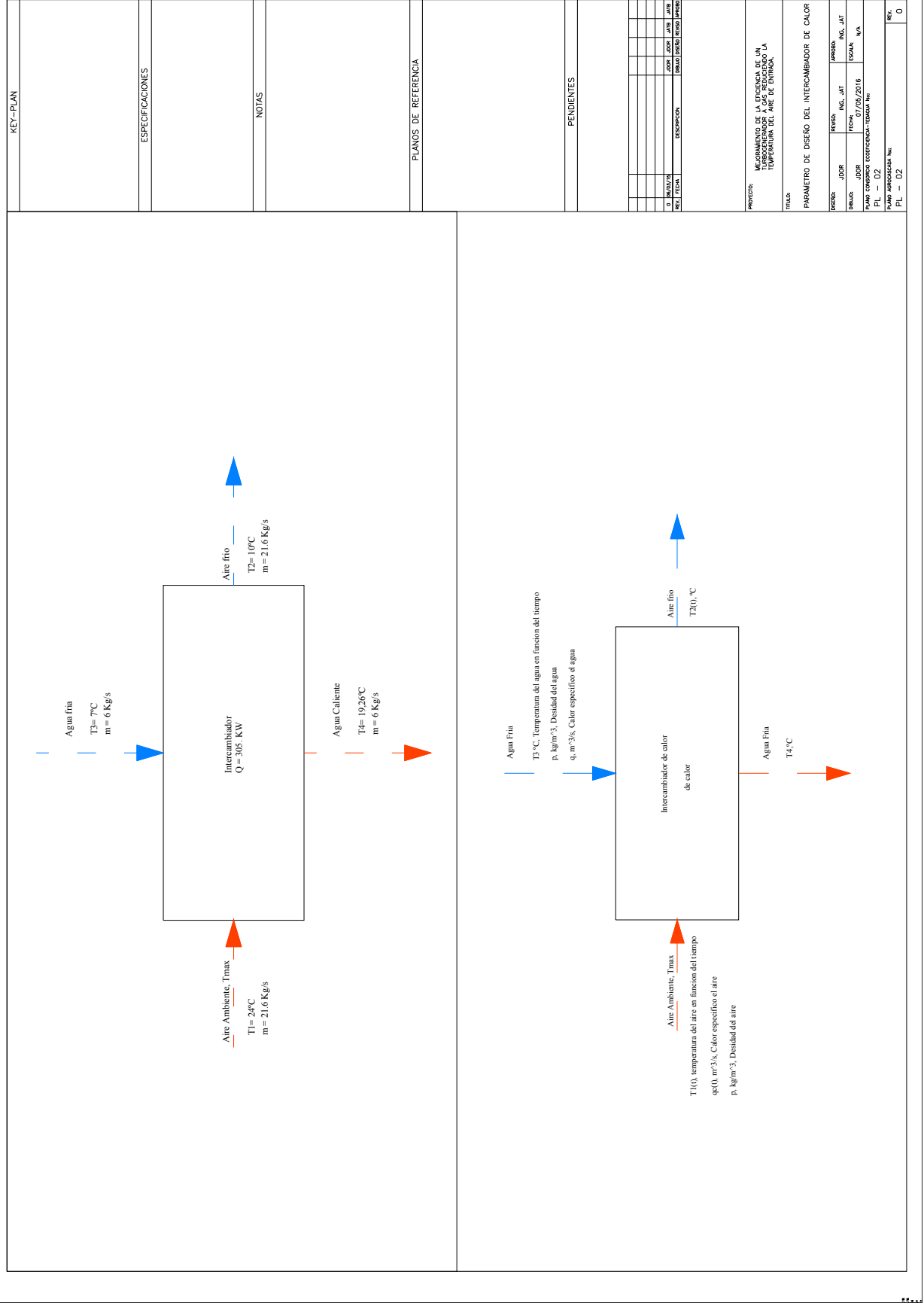
- PL – 01 Topología del sistema de refrigeración
- PL – 02 Parámetros de diseño Intercambiador de calor
- PL – 03 Detalle tubo al carbono
- PL – 04 Detalle Tanque de agua
- PL – 05 PID
- PL – 06 Plano civil
- PL – 07 Diagrama unifilar

# TOPOLOGIA DEL SISTEMA



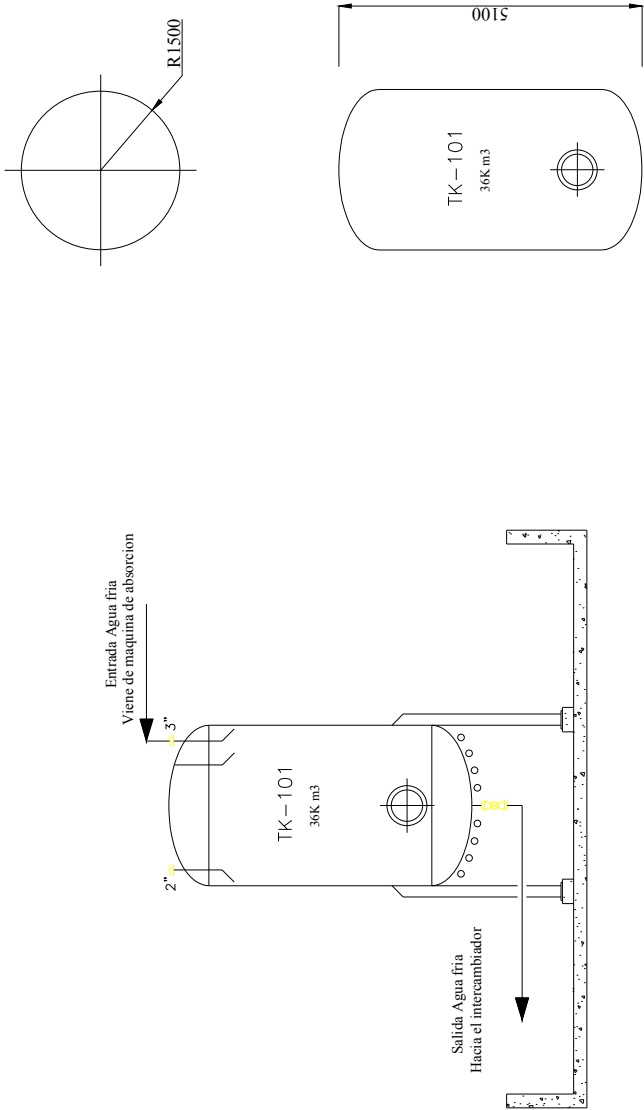
| TABLA DE CONTENIDO          |
|-----------------------------|
| 1 - Compresor               |
| 2 - Turbina                 |
| 3 - Maquina de Absorcion    |
| 4 - Intercambiador de calor |

[illegible]



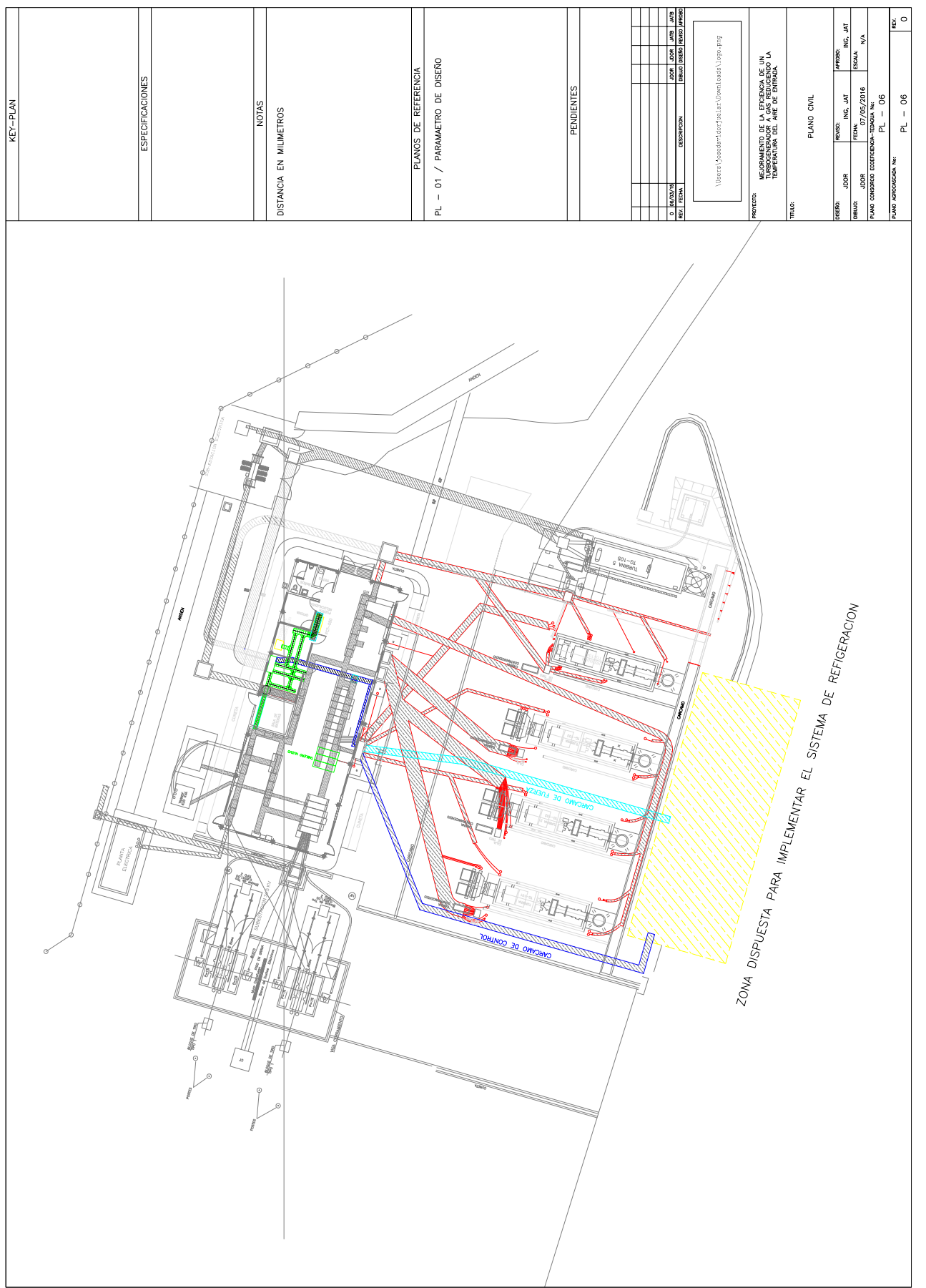


Especificaciones Tanque de agua

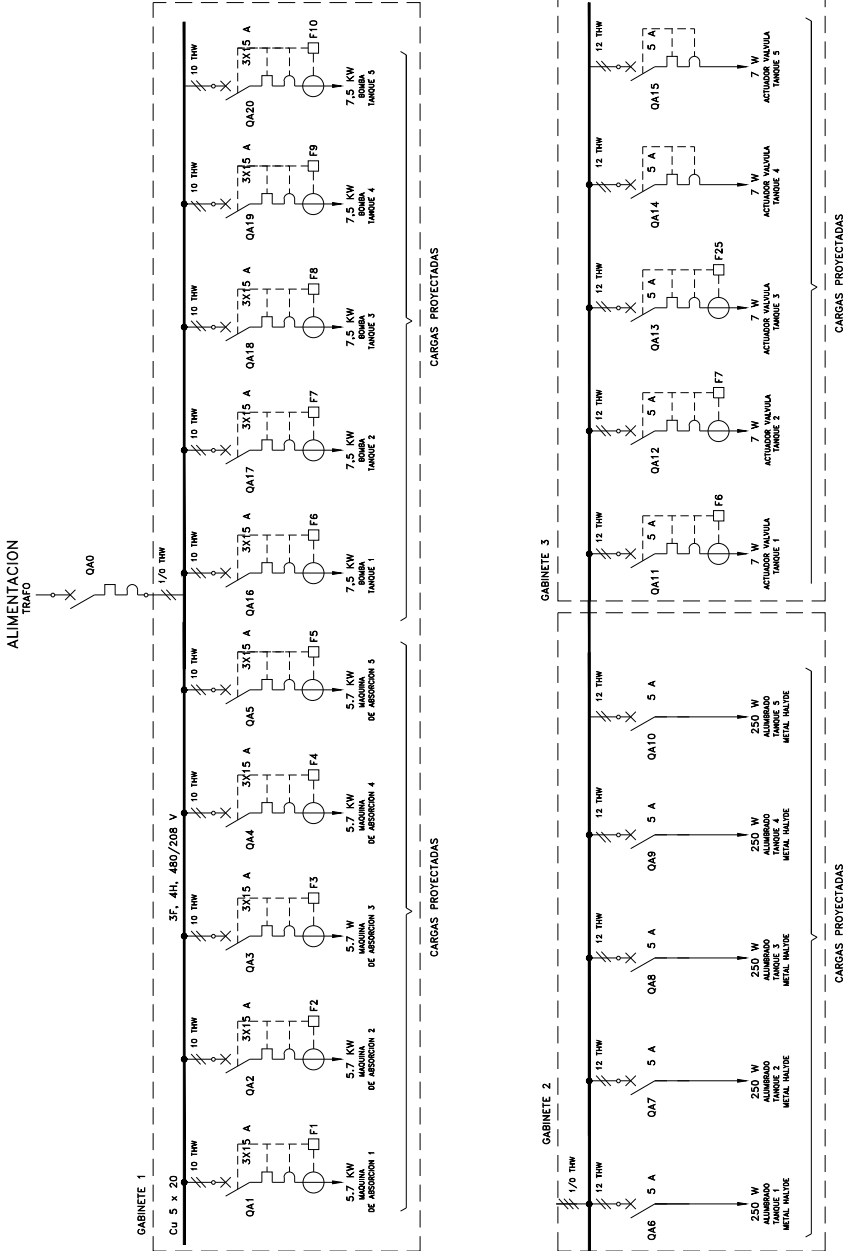


|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| KEY-PLAN   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| ESPECIFICACIONES   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| NOTAS  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| PLANOS DE REFERENCIA                                     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| PL - 01 / PARAMETRO DE DISEÑO<br>INTERCAMBIADOR DE CALOR |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| PENDIENTES   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |





|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| KEY-PLAN   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| ESPECIFICACIONES   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| NOTAS  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| PLANOS DE REFERENCIA                                     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| PL - 01 / PARAMETRO DE DISEÑO<br>INTERCAMBIADOR DE CALOR |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| PENDIENTES   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |







|  |  |                      |        |                     |               |
|--|--|----------------------|--------|---------------------|---------------|
| KEY—PLAN   |  |                      |        |                     |               |
|  |  |                      |        |                     |               |
| ESPECIFICACIONES   |  |                      |        |                     |               |
|  |  |                      |        |                     |               |
| NOTAS  |  |                      |        |                     |               |
|  |  |                      |        |                     |               |
| PLANOS DE REFERENCIA   |  |                      |        |                     |               |
|  |  |                      |        |                     |               |
| PENDIENTES   |  |                      |        |                     |               |
|  |  |                      |        |                     |               |
|  |  |                      |        |                     |               |
|  |  |                      |        |                     |               |
|  |  |                      |        |                     |               |
|  |  |                      |        |                     |               |
|  |  |                      | JDOR   | JDOR                | JATB          |
|  |  |                      | DIBUJO | DISEÑO              | REVISO APROBO |
|  |  |                      |        |                     |               |
| <b>DESCRIPCION:</b><br>MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA DE UN TURBOGENERADOR A GAS REDUCIENDO LA TEMPERATURA DEL AIRE DE ENTRADA. |  |                      |        |                     |               |
| <b>TITULO:</b><br><br>DETALLE CARCAMO  |  |                      |        |                     |               |
| DISEÑO:<br>JDOR  |  | REVISO:<br>ING, JAT  |        | APROBO:<br>ING, JAT |               |
| DIBUJO:<br>JDOR  |  | FECHA:<br>07/05/2016 |        | ESCALA:<br>N/A      |               |
| PLANO CONSORCIO ECOEFICIENCIA—TEDAGUA No:  |  |                      |        |                     |               |
| PLANO AGROCASCADA No:  |  |                      |        |                     | REV.<br>0     |

